

Pilotobjekt **Passiv-MFH Stämpfli in Unterägeri/ZG**



Ausgearbeitet durch
Armin Stämpfli, Seewen/SZ

Im Auftrag des
Bundesamtes für Energie

November 2003

Auftraggeber:

Forschungsprogramm Rationelle Energienutzung in Gebäuden
Bundesamtes für Energie

Auftragnehmer:

Rita und Armin Stämpfli
Krummfeld 12
6423 Seewen

Autoren:

Armin Stämpfli, Seewen
Beat Frei, Florian Reichmuth und Heinrich Huber, WTT HLKS, HTA Luzern (Erfolgskontrolle Bericht Nr. 414788)

2003

Diese Studie wurde im Rahmen des Forschungsprogrammes „Rationelle Energienutzung in Gebäuden“ des Bundesamtes für Energie erarbeitet. Für den Inhalt ist alleine der/die Studiennehmer/in verantwortlich.

Bundesamt für Energie BFE

Worblentalstrasse 32, CH-3063 Ittigen • Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. 031 322 56 11, Fax 031 323 25 00 • office@bfe.admin.ch • www.admin.ch/bfe

Vertrieb: BBL/EDMZ, 3003 Bern, www.admin.ch/edmz

BBL/EDMZ Bestellnummer: 805.xxx (offen lassen)

Inhaltsverzeichnis

1. Vorgeschichte
2. Passiv-MFH-Aegeri
3. Wärmeerzeugung
4. Fotoblätter 1 + 2
5. Messresultate
6. Fazit der Bauherrschaft
7. Dank

Anhang

1. Bericht Nr. 414788 „Passiv-Mehrfamilienhaus Stämpfli, Unterägeri“, HTA Luzern
WTT HLKS, 2003

Bemerkung

Die HTA Luzern hat den Schlussbericht zusammengefügt, den Inhalt jedoch nicht verändert.
Für diesen sind jeweils die Autoren zuständig.

Publikationen

Örtliche Presse (Neue Zuger Zeitung, Nr. 148 / 2002)
Zeitschrift Gebäudetechnik Nr. 1/2003
Vortrag Breu an der ETH Zürich am 13.09.2002
Tag der offenen Tür
Führungen durch das Haus durch die Bauherrschaft

1. Vorgeschichte

Im Jahre 2000 mussten wir aus privaten Gründen eine Liegenschaft in Unterägeri übernehmen. Es zeigte sich recht schnell, dass das Gebäude aus dem Jahre 1958 zu grosse Investitionen verursacht hätte und zudem das Grundstück schlecht ausgenutzt war. Wir entschlossen uns daher, auf Anraten von Architekten, das bestehende EFH durch ein Mehrfamilienhaus mit 5 Wohnungen zu ersetzen.

Da unsere Kinder Allergiker sind, war für uns von Anfang an klar, dass das neue Haus ein Minergegebäude werden musste. Der beauftragte Architekt riet uns jedoch an, nicht die Minergie- sondern die Passivhaustechnik zu verwirklichen. Der Umstand, dass gerade dieser Architekt in Muotathal/SZ ein Passivhaus realisierte, erweckte unser Vertrauen in diese Technik und so wurde der Auftrag für das Erstellen eines Passiv-MFH in Massivbauweise erteilt.

2. Passiv-MFH-Aegeri

Unser Passivhaus steht am Südhang in Unterägeri/ZG. Um die Ausnützungsziffer voll auszuschöpfen, wurde das Vorprojekt, welches aus vier Wohneinheiten bestand, durch ein allseits zurückversetztes Attikageschoss ergänzt. Das Objekt umfasst daher total 5 Mietwohnungen, wovon zwei 3 ½ und drei 5 ½-Zimmerwohnungen. Bei der Erstellung kam eher erschwerend hinzu, dass die Garagen im Erdgeschoss eingeschoben und der Lift innerhalb des Dämmperimeters erstellt werden mussten. Auch das Zurückversetzen des Attikageschosses, welches auf Grund des Baugesetztes so realisiert werden musste, war für ein Passivhaus nicht gerade günstig.

Jede Wohnung wurde so ausgestattet, dass sie wie eine eigene Zelle innerhalb des ganzen Gebäudes funktioniert. Die Wohnungen verfügen über je ein eigenes Lüftungsgerät mit Wärmerückgewinnung. Dieses wiederum hängt an einem Erdregister. In jeder Wohnung wurde auch ein Topolino-Ofen installiert, welcher jedoch nicht zwingend für Heizzwecke gebraucht wird.

Das Warmwasser wird aus einem gemeinsamen Wärmespeicher bezogen, welcher einerseits durch eine Solaranlage und anderseits durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW) gespiesen wird.

Jede Wohnung wurde mit den gleichen, der Energieklasse A oder A plus angehörenden, Elektrogeräten (alles AEG) ausgestattet. In den Küchen sind entsprechend nebst separaten Kühl- und Gefrierschrank, Mikrowelle, Combi-Steamer, Geschirrspüler, Glaskeramikkochfeld und leistungsfähigem Umluftdampfabzug Standart. In den Badezimmern steht je ein Waschturm, wobei zu erwähnen ist, dass auf dem Markt nur gerade ein Hersteller gefunden werden konnte, welcher einen Tumbler mit Energieklasse A (AEG) liefern konnte.

Alle Wohnungen verfügen über Balkone. Die 3 ½ Zimmerwohnungen haben den Hauptbalkon auf der Ostseite. Die 5 ½ Zimmerwohnungen auf der Westseite. Zudem verfügen beide Wohnungsgrössen über einen Südbalkon, welcher jedoch nicht sehr breit ausfallen durfte, da dieser entsprechend dem Sonneneinstrahlwinkel am kürzesten Tag das Sonnenlicht in die Wohnungen einlassen musste. Im Sommer haben diese Balkone die Aufgabe die Südfassade abzuschatten um eine Überhitzung der Wohnungen zu vermeiden.

Die Attikawohnung hat eine fast rundum verlaufende Terrasse. Auf dieser hat man eine 360 Grad Rundumsicht auf das ganze Aegerital. Der Terrassenboden musste entsprechend nach unten, gegen die Wohnungen hin, auch Passivhaustauglich gedämmt werden. Da wir keine Stufe von der Attikawohnung auf diese Terrasse wollten, mussten Lösungen gesucht werden, mit welchen man dies vermeiden konnte. Die Lösung hiess Vaccumdämmplatte. Diese ermöglichen einen Übergang von der Wohnung zur Dachterrasse ohne Stufe zu verwirklichen.

Das Pultdach mit 3 % Gefälle wurde mit 52 cm gedämmt. Darüber wurde entgegen den Vorstellungen des Architekten eine extensive Begrünung realisiert. Auf dem Dach wurden

zudem 16 m² Kollektoren auf entsprechenden Konsolen installiert. Üblicherweise werden in unseren Breiten pro 100 Liter Speichergrösse ein Quadratmeter Kollektoren gerechnet. Da bei unserem Haus die Kollektoren in einer Reihe aufgestellt wurden, konnte diese Fausregel nicht beachtet werden. Um dieses Manko abzufangen wurden leistungsfähigere Kollektoren des Types Cobra der Firma Schuppiser montiert. Die Erfahrungen damit können nach einem Jahr als sehr positiv beurteilt werden.

Im Erdgeschoss sind südlich sog. Gemeinschaftsräume untergebracht, welche nach Erhöhung der Ausnützungsziffer zu einer weiteren 3 ½ Zimmerwohnung ausgebaut werden könnten.

Im Untergeschoss verfügt jede Wohnung über einen eigenen Kellerraum, welcher ebenfalls an einer Lüftungsanlage hängt. Weiter sind Technikräume, der Schutzraum und zwei Hobbträume vorhanden. Zudem wurde dort die Vorinstallation für den Einbau einer späteren Sauna erstellt.

3. Wärmeerzeugung

Die Wärmeerzeugung für die Wohnungen wird vorwiegend über die Lüftungsanlage mit entsprechender Wärmerückgewinnung hergestellt. Pro Wohnung wurde je ein Lüftungsgerät mit einem Wärmetauscher installiert. Dieses hängt an einem sogenannten Erdregister. Dieses Register bewirkt, dass die angesaugte Luft im Winter vortemperiert und im Sommer abgekühlt wird. Zudem wird die Frischluft, bevor sie in die Wohnungen eingeblasen wird, gefiltert. Allergiker haben daher eine markant bessere Lebensqualität in diesen Wohnung als in vergleichsweisen Wohnungen ohne Lüftungsanlage. Zudem konnte auch festgestellt werden, dass es in diesen Wohnungen bedeutend ruhiger ist, da die Fenster nicht geöffnet werden müssen und zudem viel weniger Staub anfällt.

Sollten die Temperaturen einem Bewohner zu tief sein, kann er die Frischluft zusätzlich erwärmen, indem er diese via Wärmetauscher, welcher vom Speicher im UG gespiesen wird, aufheizt.

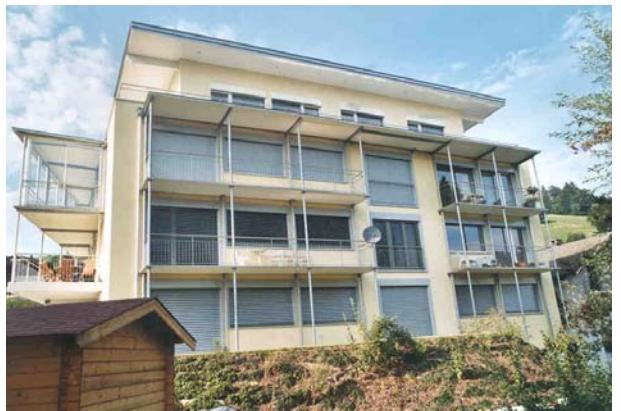
Der rund 2'300 Liter grosse Speicher wird einerseits durch die Sonnenanlage und anderseits durch ein Blockheizkraftwerk (BHKW) beheizt. Im Sommer wurden über Monate die Temperaturen in diesem Speicher mehr als nur erreicht. In den Übergangszeiten und im letzten Winter spendete das BHKW die restliche noch nicht erreichte Wärme.

Die Bauherrschaft wollte ursprünglich diese Restwärme mittels einer Wärmepumpe bewerkstelligen. Der Architekt, der Energietechniker sowie Prof. Betschart von der HTA Luzern wollten diese Energie mittels Brennstoffzellen bereitstellen. Nachdem die Herstellerfirma Sulzer-Hexis für ein solches Gerät CHF 250'000.—haben wollte, musste dieses Vorhaben begraben werden. Zudem hätte es sich bei diesem Gerät um einen Prototypen gehandelt. Entsprechend musste auf ein BHKW umgeplant werden. In unserem Fall wird dieses mit Flüssiggas betrieben, sodass jederzeit auf Brennstoffzellen umgerüstet werden könnte.

Für alle, denen der Ausdruck BHKW nichts sagt, hier kurz eine entsprechende Beschreibung. Ein BHKW beinhaltet eigentlich nichts anderes als einen kleinen Motor, welcher mit Flüssiggas betrieben wird. Dieser Motor treibt einen Generator, welcher seinerseits Strom produziert. Dieser Strom wird in unserem Fall aufs Netz gegeben. Wie bei allen Verbrennungsmotoren üblich, fällt auch hier Wärme als Nebenprodukt an. Diese Wärme wird in den oben genannten Speicher eingespiesen. Natürlich braucht es noch einiges mehr dazu. Die Steuerung des Ganzen ist recht aufwändig, aber ich denke, so können wir Laien uns etwas unter einem BHKW vorstellen.



Haus Südostseite



Südseite



Küchen im 1. und 2. OG



Bad 5 ½ Zimmerwohnungen



Waschturm pro Wohnung
Alles AEG-Geräte, da kein anderer Tumbler
der
Energieklasse A auf dem Markt vorhanden



Duschen 5 1/5 Zimmerwohnungen



5. Messresultate

Bezüglich den Messresultaten verweise ich auf den Bericht Nr. 414788 der HTA Luzern, welcher als Anhang diesem Bericht beiliegt.

6. Fazit der Bauherrschaft

Ein Passivhaus als Mietobjekt zu erstellen ist im Moment noch nicht ratsam. Das Funktionieren oder eben Nichtfunktionieren hängt zuviel vom Verhalten der Mieter ab. Wenn diese trotz der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung einfach im tiefen Winter die Fenster aufsperren, fällt die ganze Energiegewinnung zusammen. Entsprechend können die Vorgaben des Passivhaus-Institutes Darmstadt nie erreicht werden.

Die Vorgaben des Passivhaus-Institutes Darmstadt berücksichtigen den Co2-Ausstoss leider nicht oder zuwenig. In jenen Vorgaben wird nur gerechnet, wie viel Strom in das Gebäude hineingeht und wie viel herauskommt (BHKW). Einspeisung minus im Haus produzierter Strom ergibt den Stromverbrauch pro m² Wohnfläche. Wenn nun aber im Sommer das BHKW nicht läuft, also keine Energie in Form von Flüssiggas verbraucht wird und entsprechend kein Strom in Haus produziert werden kann, sondern die Wärmeenergie (Warmwasser) via Sonnenanlage erzeugt wird, verändert sich das Verhältnis zu Ungunsten des Stromverbrauches. Für die Umwelt denken wir, war unser Entscheid auch heute noch richtig, eine Solaranlage einzubauen zu lassen.

Den Rat des Haustechnikers, den Geschirrspüler und die Waschmaschine ebenfalls an den Warmwasseranschluss zu hängen, können wir nach unseren Erfahrungen nicht teilen.

Bei der Waschmaschine muss man erst ein Gerät finden, welches dies zulässt. Entsprechend fallen diese wenigen Geräte meist aus der Energieklasse A heraus. Also untauglich.

Beim Geschirrspüler machten wir die Erfahrungen, dass das Geschirr meist schmutzig aus dem Gerät kam. Den bereits beim Vorwaschen wird heißes Wasser eingelassen, was dazu führte, dass der Schmutz direkt eingebrannt wurde. Wir holten daher Rat bei diversen Geräteimporteuren und alle erklärten uns das Gleiche, selbst der Sanitärinstallateur riet uns von einem solchen Geräteanschluss ab. Wir ließen daher die Geräte an das Kaltwasser umhängen und seither können wir blitzblankes Geschirr auch ohne Vorwaschen aus der Maschine nehmen.

Unsere Empfehlung, im Moment noch kein Passivhaus zu realisieren hängt auch mit den schlechten Erfahrungen mit den sog. Fachleuten zusammen. Die Planer trieben die Kosten derart in die Höhe, dass es wohl kaum einem in den Sinn kommen sollte ein Energiesparhaus zu erstellen. Die ursprünglich genannten Mehrkosten von 7 % gegenüber einem nach heutigen Energievorschrift erstellten Haus erwiesen sich als Utopien.

Haustechniker und Architekten müssen sich erst an diese Art von Energiesparhäuser gewöhnen, bzw. ausgebildet werden. Vielen von diesen teils selbst ernannten Fachleuten fehlt es an Wissen und Können. Unsere Erfahrungen gingen auch in Richtung „Bereicherung“ dieser Leute. Bei vielen Mehrkosten wird immer mit dem Argument „es handelt sich halt um ein Passivhaus“ argumentiert, was meist Unsinn ist. Natürlich gibt es zur Zeit Mehrkosten bei der Erstellung eines Passivhauses. Die stärkeren Dämmungen, geeignete Fenster, Luftdichtes Bauen etc. sind da nur einige Punkte. Aber alle diese Aufzählungen hätten auch bei uns bei seriöser Planung und Ausführung nicht zu einer Kostenüberschreitung von über 26 % führen dürfen, zumal die Berechnungen bereits auf Passivhausstandart beruhten.

Wenn sie trotzdem an der Realisierung eines Passivhauses interessiert sind, lassen sie sich Zeit bei der Auswahl ihrer „Fachleute“. Lassen sie sich alles schriftlich bestätigen, oder noch besser handeln sie Pauschalpreise aus. Ihre Gesundheit wird es ihnen danken.

7. Dank

Unser Dank gilt den Herren Hans Bertschinger von der EMPA ZEN in Dübendorf sowie Prof. Werner Betschart, und den beiden Dipl. Ing. HLK Beat Frei und Heinrich Huber von der HTA Luzern, welche uns mit grossen Engagement und Fachwissen beistanden.

Auch dem Bundesamt für Energie BFE, vertr. durch Herrn Hans Luzius Schmid, welches uns eine Beihilfe an die Umsetzung des Passivhauses zusprach, möchten wir an dieser Stelle danken.



HTA -> HOCHSCHULE FÜR TECHNIK+ARCHITEKTUR LUZERN

Wissens- und Technologietransfer (WTT) Heizung - Lüftung - Klima - Sanitär (HLKS)

Bericht Nr.: 414788

Objekt: Passiv-Mehrfamilienhaus Stämpfli
Bödlistrasse 11
6314 Unterägeri

Auftraggeber: Armin und Rita Stämpfli
Krummfeld 12
6423 Seewen

Datum: 2003-11-17

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung.....	3
2	Objektbeschrieb	4
2.1	Gebäude.....	4
2.2	Nutzung.....	9
2.3	Gebäudetechnik.....	10
2.4	Gebäudedaten.....	13
3	Erfolgskontrolle.....	14
3.1	Messkonzept und Durchführung	14
3.2	Kontrolle der Luftvolumenströme an den Durchlässen	20
3.2.1	Messgerät	20
3.2.2	Messverfahren	20
3.2.3	Messresultate und Vergleich mit den Planungswerten	20
3.3	Vergleich der Klimadaten aus der Referenz Meteonorm und der Erfolgskontrolle	21
3.4	Zeitabhängige Temperatur- und Feuchteverläufe	22
3.5	Korrelationsdiagramme für Temperatur und relative Feuchte	29
3.6	Korrelationsdiagramme für die absolute Feuchte	31
3.7	Diagramme für die kumulierte Häufigkeit der Betriebszustände	32
3.8	Typische Wochen	43
3.9	Zusammenstellung charakteristischer Zahlenwerte	45
3.10	Analyse verschiedener Anlagekomponenten	47
3.10.1	Luft - Erdregister	47
3.10.2	Wärmerückgewinnung mittels Wohnungslüftungsgeräten	48
3.10.3	Energieverbrauch der Wohnungslüftungsgeräte	48
3.10.4	Luftheizung und spezifische Heizlast	49
3.10.5	Warmwassererzeugung	50
3.10.6	Blockheizkraftwerk	51
3.11	Energiebilanz	53
3.11.1	Spezifische Heizlast	53
3.11.2	Heizkennlinie	55
3.11.3	Monatliche Produktions- und Verbrauchsdaten	56
3.11.4	Energieflussdiagramm	58
3.11.5	Nutz- und Primärenergie	59
4	Passivhaus – Kennwerte	61
4.1	Primärenergie	61
4.2	Nutzenergie Heizung	61
4.3	Nutzenergie Elektrizität	61
5	Schlussfolgerungen	62
6	Verzeichnisse	63
6.1	Abbildungen	63
6.2	Tabellen	66
7	Literatur	66
8	Anhang	67
8.1	Variante Wärmeerzeugung mit kondensierendem Gaskessel	67

1 Zusammenfassung

Durch den Fachbereich Wissens- und Technologietransfer (WTT) HLKS der HTA Luzern wurde im Passiv – Mehrfamilienhaus Stämpfli in Unterägeri im Zeitraum von Juli 2002 bis Juni 2003 eine Erfolgskontrolle durchgeführt. Hierbei zeigte sich, dass die durch das Passivhaus - Institut in Darmstadt definierten Grenzwerte teilweise nicht eingehalten werden können. Unter Berücksichtigung der Stromproduktion des Blockheizkraftwerkes (BHKW) kann der Primärenergie – Kennwert von 125 kWh/m²a eingehalten werden. Hingegen wird der Nutzenergie – Kennwert Heizung von 15 kWh/m²a mit 21.6 kWh/m²a verfehlt (Abweichung +44 %). Den grössten Beitrag zur Nichterreichung des Primärenergie - Kennwerts (ohne Berücksichtigung der Stromproduktion BHKW) leistet jedoch der um +57 % verfehlte Nutzenergie - Kennwert Elektrizität.

Mögliche Ursachen für die Abweichungen sind wie folgt zu erwähnen:

- Die Belegung und das Benutzerverhalten entsprechen nicht den deutschen Grundannahmen, die den Kennwertdefinitionen zu Grunde liegen. Somit fallen weniger interne Gewinne an. Bei der Planung ist man offensichtlich von zu optimistischen Annahmen ausgegangen.
- Das installierte Blockheizkraftwerk (BHKW) und die Solaranlage konkurrenzieren sich.
- Möglicherweise sind bisher nicht untersuchte Wärmebrücken ein Grund für Wärmeverluste in der allseitig zurückversetzten Attikawohnung und im Gemeinschaftsraum neben den eingeschobenen Garagen.
- Gemäss Aussagen des Bauherrn ist zu vermuten, dass im Untergeschoss teilweise andere Dämmlagen als ursprünglich vorgesehen ausgeführt wurden.

2 Objektbeschrieb

2.1 Gebäude



Abbildung 1: Das Passivhaus Unterägeri in der Ostansicht.

Beim Passivhaus Unterägeri handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus in Massivbauweise. Fünf Wohnungen werden durch einen im Treppenhaus integrierten Lift erschlossen. Ein allseitig zurückversetztes Attikageschoss bildet nach oben den Abschluss. Das Treppenhaus befindet sich innerhalb des Wärmedämmperimeters. Im Erdgeschoss befinden sich fünf eingeschobene Garagen.



Abbildung 2: Nordansicht.

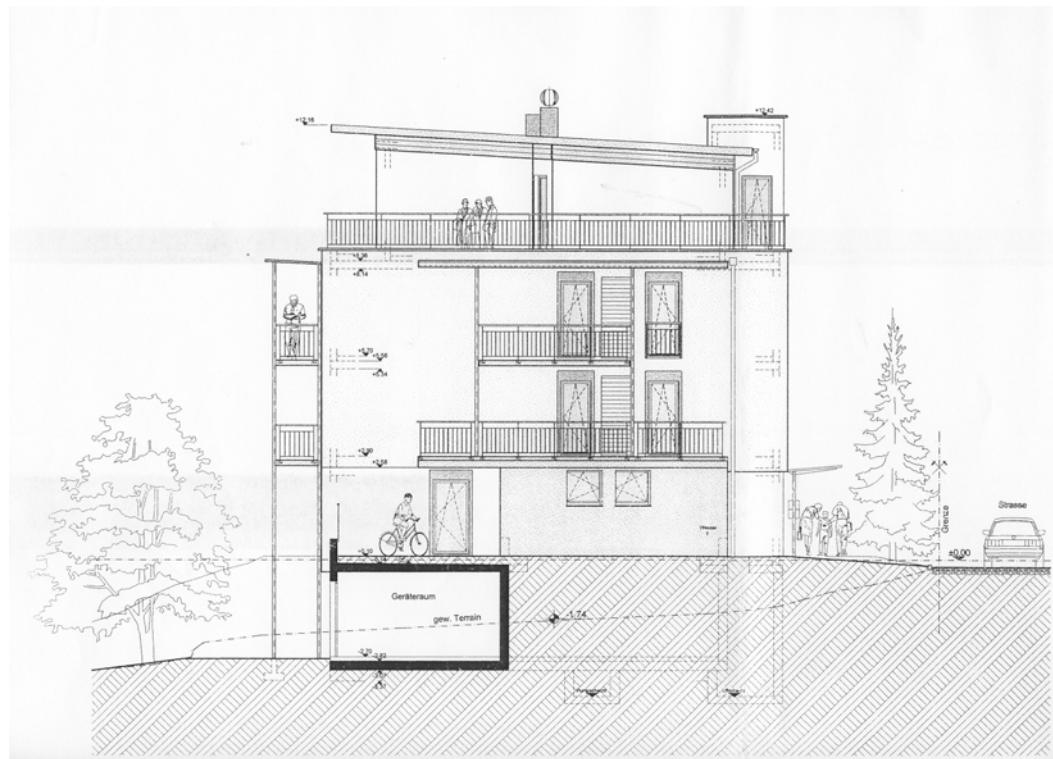


Abbildung 3: Ostansicht.



Abbildung 4: Südansicht.



Abbildung 5: Westansicht.

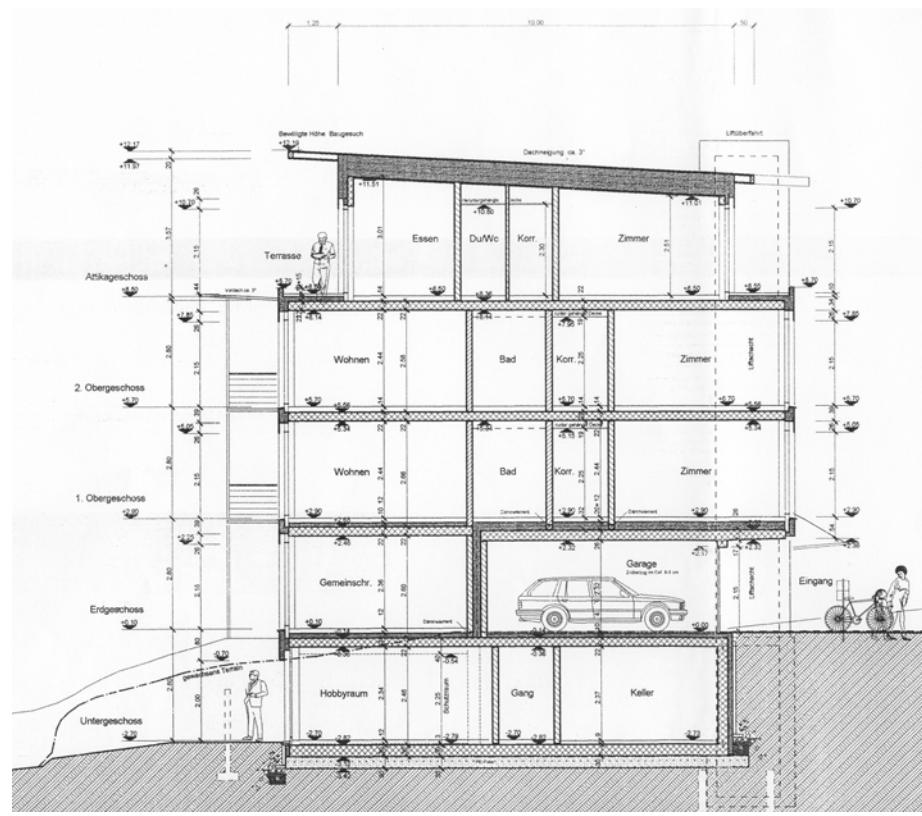


Abbildung 6: Schnittansicht durch das Passivhaus Unterägeri.

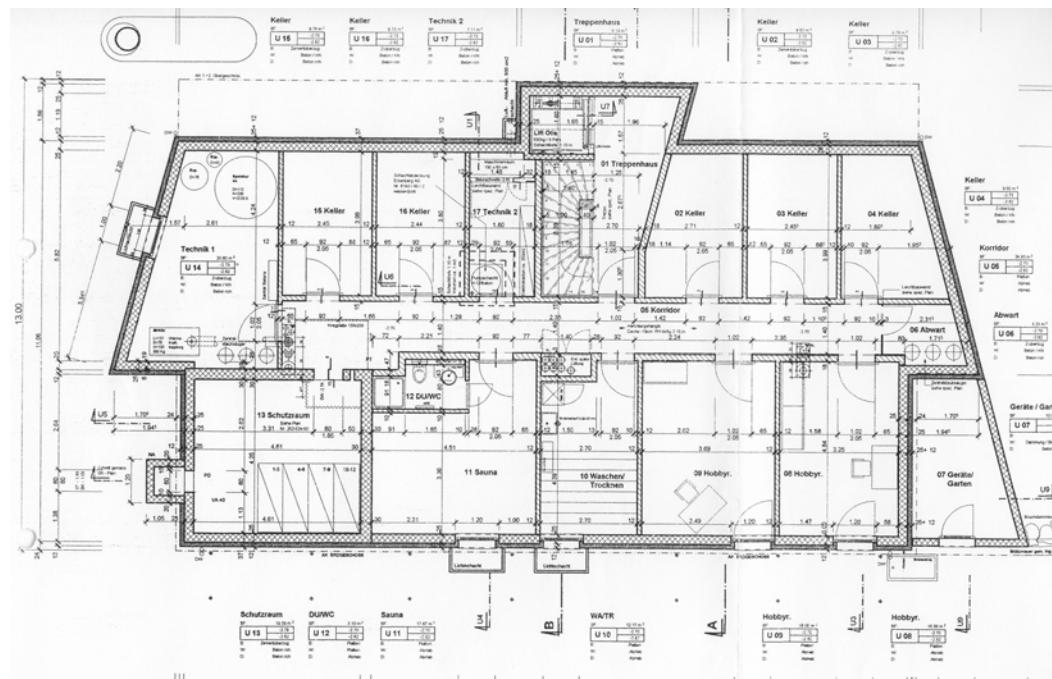


Abbildung 7: Grundriss Untergeschoß.

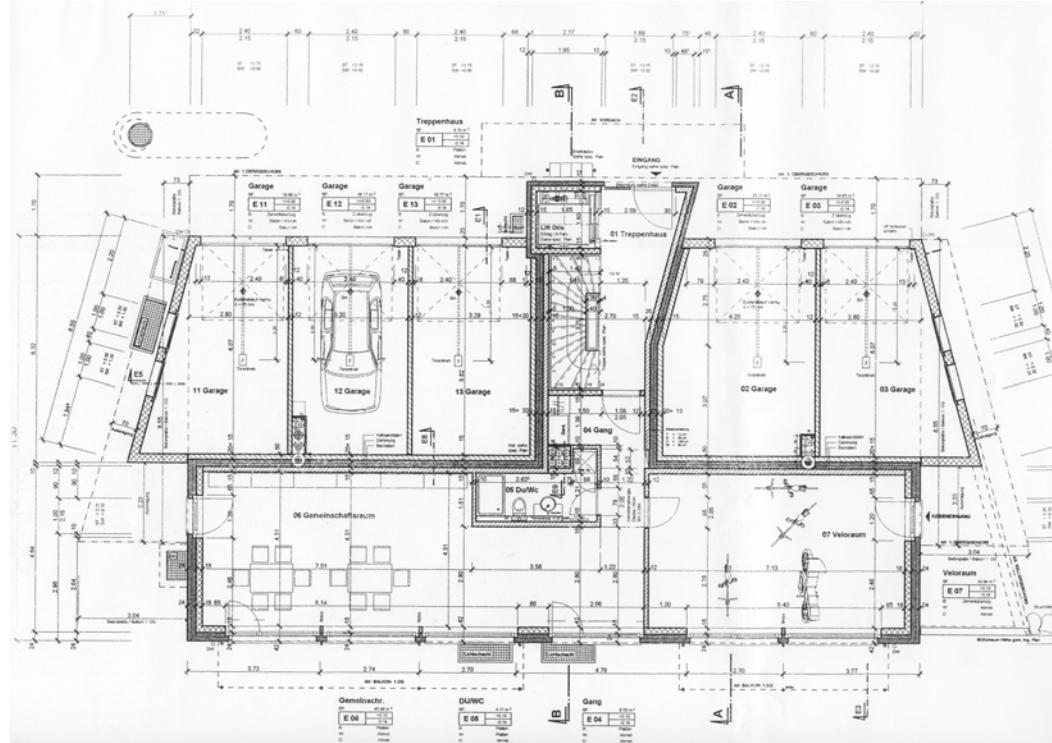


Abbildung 8: Grundriss Erdgeschoss mit fünf eingeschobenen Garagen.

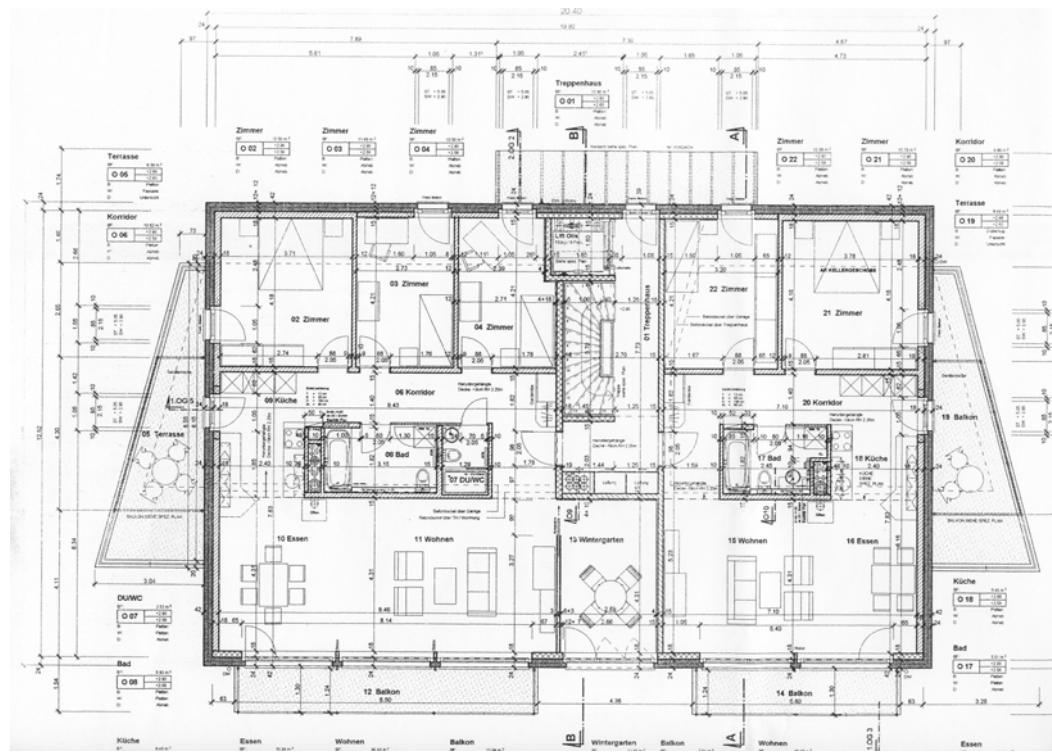


Abbildung 9: Grundriss 1. Obergeschoss und 2.Obergeschoss.

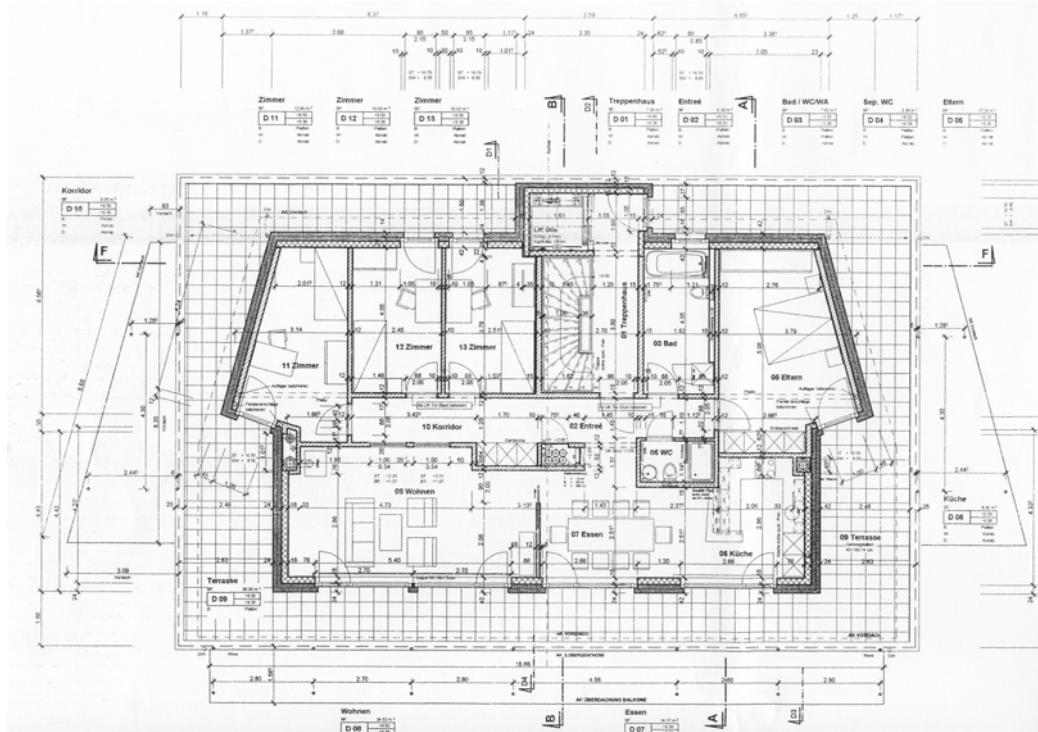


Abbildung 10: Grundriss Attika.

2.2 Nutzung

Gemäss Datenblatt wurde in der Projektierungsphase mit einer Belegung von 15 Personen gerechnet. Während der Erfolgskontrolle hat sich herausgestellt, dass einzelne Wohneinheiten nicht immer besetzt waren. Die durchschnittlichen Belegungszahlen in der Heizperiode Oktober 2002 bis März 2003 – basierend auf Angaben der Hausbesitzer - sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Wohnung	Bruttofläche (m ²)	Personen (-)	Bruttofläche/Person (m ² /Person)
Attika	121	1	121
2. OG links	83	2	41.5
2. OG rechts	129	2	64.5
1. OG links	83	2	41.5
1. OG rechts	129	5	25.8
Gemeinschaftsraum	46	1	46
Total	591	13	45

Tabelle 1: Belegungsdaten von Oktober 2002 bis März 2003.

2.3 Gebäudetechnik

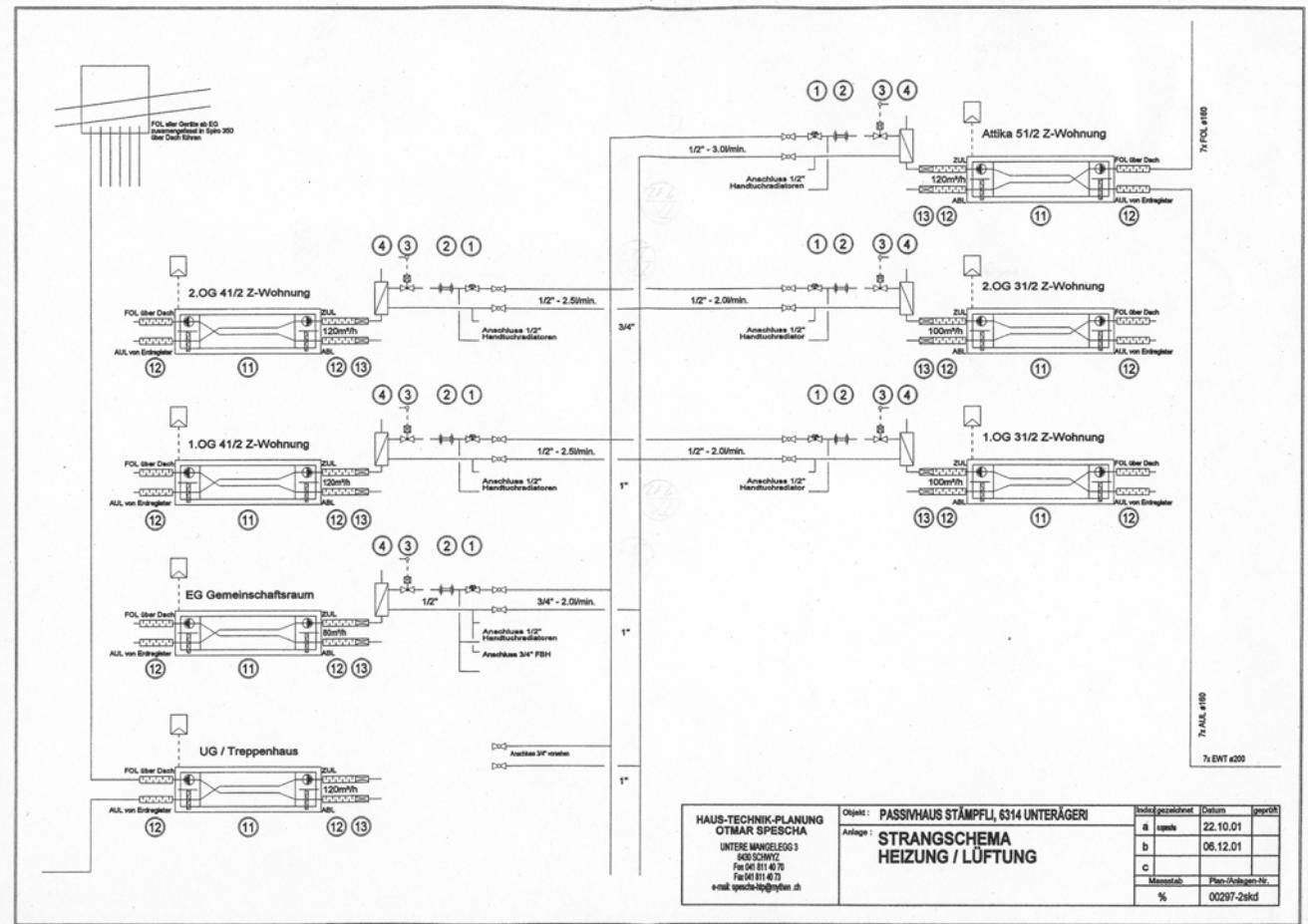


Abbildung 11: Prinzipschema Lüftung Passivhaus Unterägeri (Werkzeichnung Spescha).

Mittels modulierendem Blockheizkraftwerk (BHKW) und Sonnenkollektoren wird ein zentraler 3000 Liter-Speicher bewirtschaftet, von dem das Warmwasser und die Energie für die Heizregister der Luftheizung bezogen werden. Das BHKW wird mit Flüssiggas betrieben, das in einem erdverlegten Speicher ausserhalb des Gebäudes gelagert wird. Über eine Gasleitung wird das Gas zum BHKW geführt, wo es in thermische und elektrische Energie umgewandelt wird. Die Wassererwärmung erfolgt hauptsächlich mit den Solarkollektoren.

Für alle fünf Wohnungen stehen separate Wohnungslüftungsgeräte mit Wärmerückgewinnung und Luftherdergäste zur Verfügung. Zusätzlich sind Wohnungslüftungsgeräte für einen Gemeinschaftsraum und das Untergeschoss vorhanden. In Schrankenbauten im Gang sind jeweils drei Geräte zusammengefasst. Die Luftverteilung erfolgt über die an den Decken heruntergehängten Lüftungsrohre, an deren Ende ein Heizregister zur Luftherwärmung platziert ist. Die Dampfabzüge sind mit einer Umluftanlage mit Aktivkohlefilter versehen. Die Badezimmer werden aus Komfortgründen mit einem separaten Heizkörper beheizt.

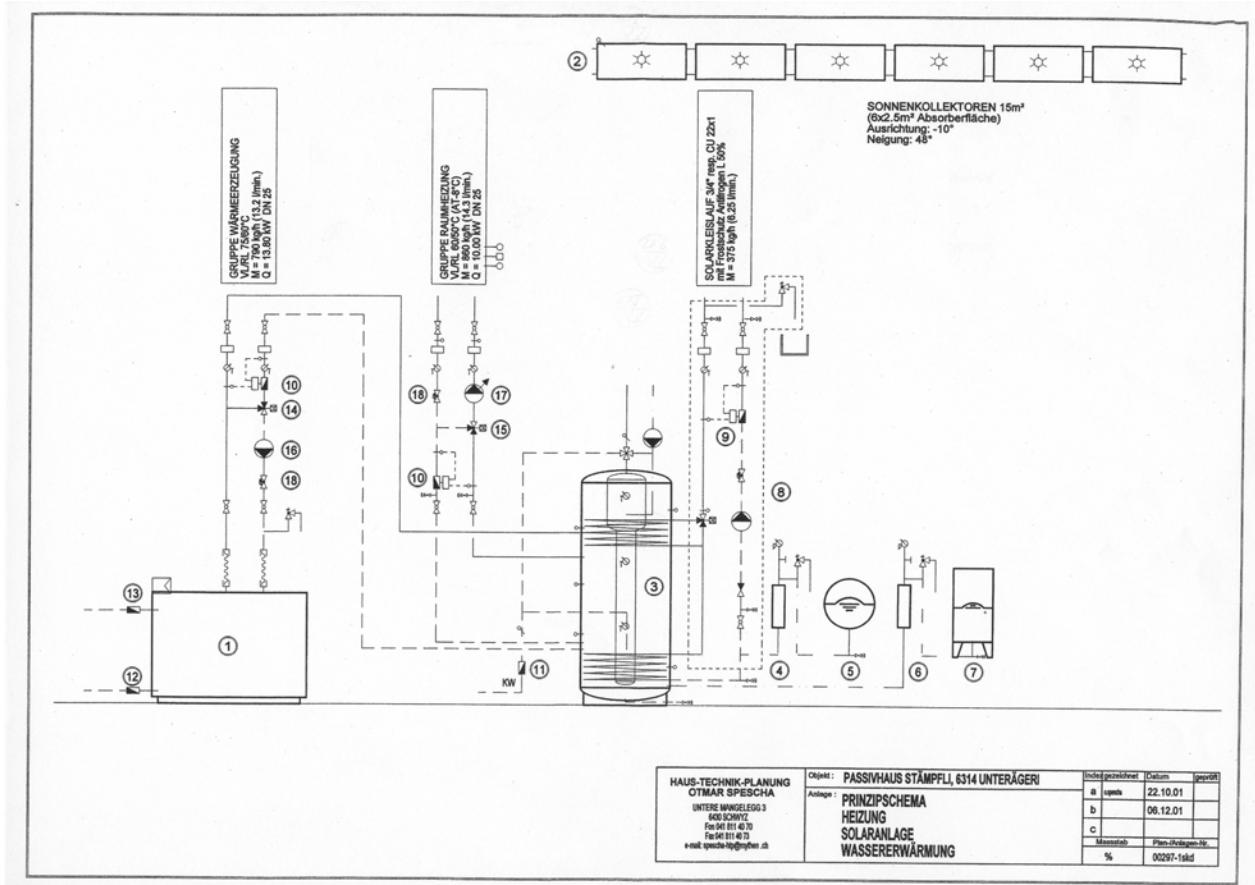


Abbildung 12: Prinzipschema Heizung Passivhaus Unterägeri (Werkzeichnung Spescha).



Abbildung 13: Blockheizkraftwerk und Speicher im Technikraum 1 des Untergeschosses.



Abbildung 14: Drei Wohnungslüftungsgeräte mit Austauschkassetten im Schrankeneinbau des 2. Obergeschosses.

2.4 Gebäudedaten

DATENBLATT (PASSIV-MFH UNTERÄGERI)

LAGE ALLGEMEINES

Unterägeri Südhang	740	M.ü.M.
Personenzahl	15	Pers.
Energiebezugsfläche	696.2	m ²

GEBÄUDE

Gebäudevolumen	4310	m ³
Gebäudemasse ca.	15'000	KN (ca. 1'500 Tonnen)
Gebäudehülle	1116	m ²
Gebäudehüllenziffer	1.740	-
Netto-Wohnfläche	544.2	m ²
Fensterfläche Total	145.7	m ²
Glasfläche Total	105.3	m ²
Ø Rahmenanteil Total	27.73	%

U-WERTE HÜLLE

Boden 1. OG zu Aussenluft	0.101	W/m ² K
Boden 1. OG über Garagen	0.101	W/m ² K
Mauerfuss über Garagen	0.250	W/m ² K
Flachdach begehbar	0.077	W/m ² K
Boden 1. OG zu temperiert	0.182	W/m ² K
Pultdach (extensiv begrünt)	0.076	W/m ² K
Aussenwand Obergeschosse	0.099	W/m ² K
Storenkasten	0.217	W/m ² K
Mitlerer U-Wert (o. Fenster)	0.108	W/m ² K

FENSTER

IV 3-fach Argon	0.700	W/m ² K
Rahmen	0.660	W/m ² K
ψ Glasrand	0.041	W/mK
ψ Einbau	0.020	W/mK
Mitlerer U-Wert (Fenster)	0.828	W/m ² K
g-Wert	0.530	%
Red. Solarstrahlung Nord	0.400	-
Red. Solarstrahlung Süd	0.410	-
Red. Solarstrahlung Ost	0.360	-
Red. Solarstrahlung West	0.360	-
Nutzungsgrad ηG	0.944	-

LUFTDICHTIGKEIT

Testergebnis (Unterdruck)	-.-	h-1
(Noch nicht erfolgt)		

Abbildung 15: Datenblatt Passivhaus Unterägeri aus Literatur [2].

3 Erfolgskontrolle

3.1 Messkonzept und Durchführung

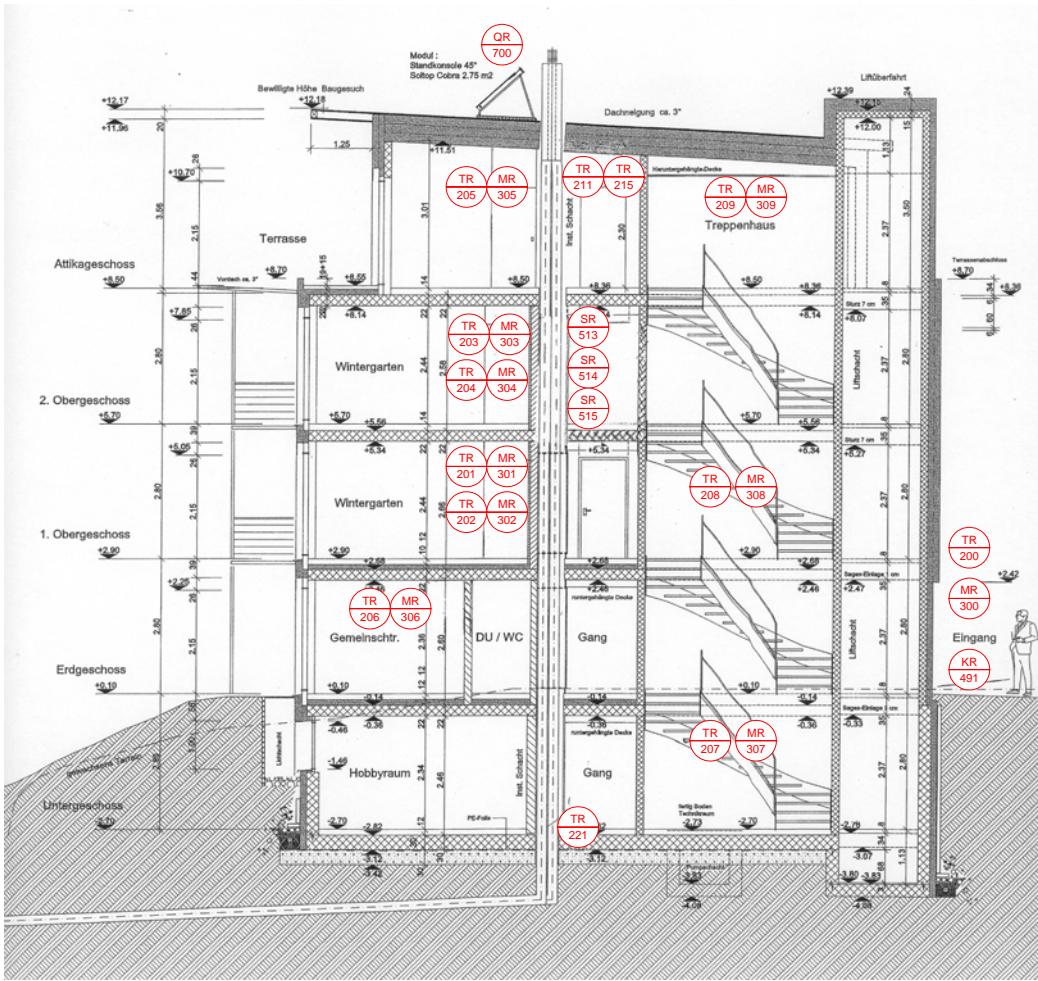


Abbildung 16: Prinzipschema des Messkonzepts.

Legende Abbildungen 15 bis 17:

Temperatur T / Relative Feuchte M / Strömung S / Durchfluss F / Strahlung R / Betriebszeit K

Registrierung R / Anzeige I

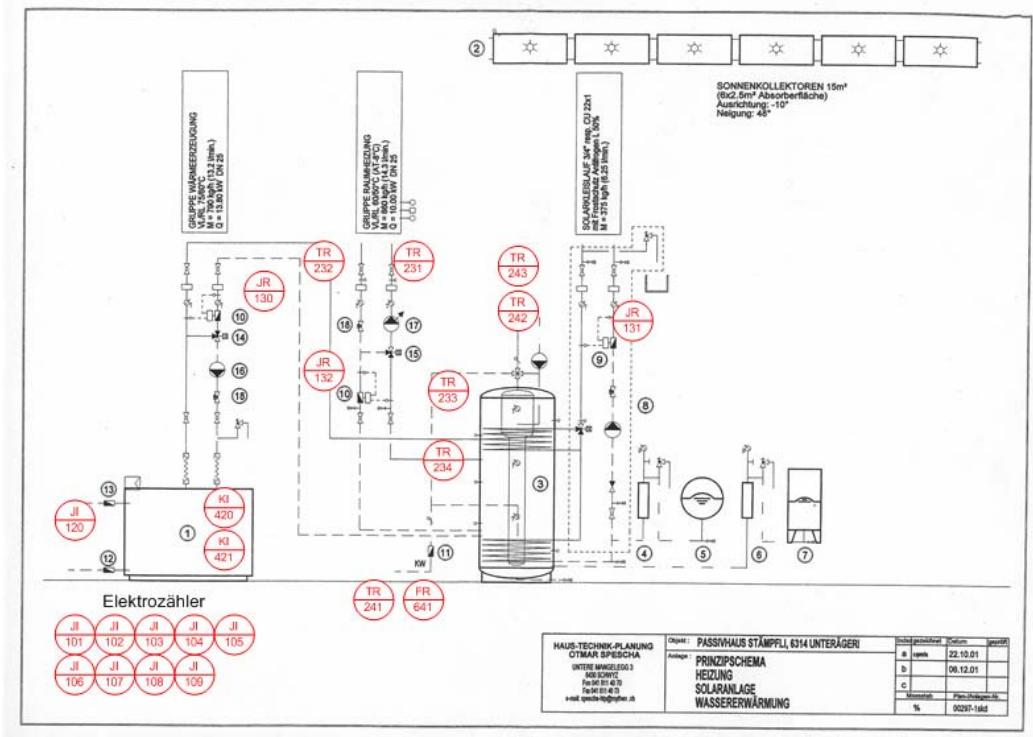


Abbildung 17: Prinzipschema Heizung des Messkonzepts.

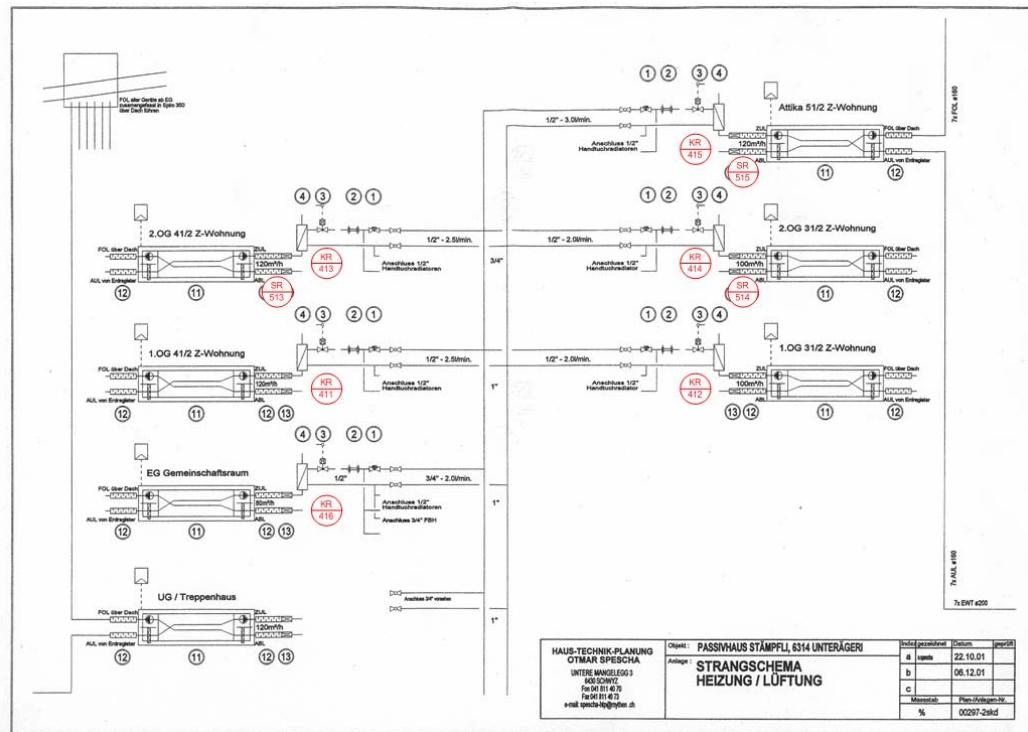


Abbildung 18: Prinzipschema Lüftung des Messkonzepts.



Abbildung 19: Datenlogger „Technik“ und „BHKW“ der HTA Luzern im Untergeschoss.



Abbildung 20: Strömungssensor für die Luftgeschwindigkeit FOL im 2. Obergeschoss.

Permanente Messungen

Die folgenden Messstellen wurden über die ganze Messzeit erfasst:

Elektrische Energie

J I 101	EW-Zähler Erdgeschoss
J I 102	EW-Zähler 1. Obergeschoss Ost
J I 103	EW-Zähler 1. Obergeschoss West
J I 104	EW-Zähler 2. Obergeschoss Ost
J I 105	EW-Zähler 2. Obergeschoss West
J I 106	EW-Zähler Attika
J I 107	EW-Zähler Allgemein
J I 108	EW-Zähler Rückspeisung
J I 109	Produktion BHKW

Zähler mit Ablesung (optische Anzeige): monatliche Ablesung durch Auftraggeber.

Zähler mit Impulsausgang: Der Stand wird jede Stunde erfasst und abgespeichert.

Gasverbrauch

J I 120	Gaszähler Propan
---------	------------------

Zähler mit Ablesung: monatliche Ablesung durch Auftraggeber.

Thermische Energie

J R 130	Wärmeproduktion BHKW
J R 131	Produktion Solaranlage
J R 132	Verbrauch Gruppe Raumheizung

Zähler mit Impulsausgang: jede Stunde wird der Stand elektronisch erfasst und abgespeichert

Temperaturen

TR 200	Aussenluft
TR 201	Raumluft Wohnzimmer 1.OG rechts
TR 202	Raumluft Wohnzimmer 1.OG links
TR 203	Raumluft Wohnzimmer 2.OG rechts
TR 204	Raumluft Wohnzimmer 2.OG links
TR 205	Raumluft Wohnzimmer Attika
TR 206	Raumluft Wohnzimmer Gemeinschaftsraum
TR 207	Treppenhaus unten
TR 208	Treppenhaus mitte
TR 209	Treppenhaus oben
TR 211	Fortluft Wohnung Attika vor Gebäudeaustritt
TR 215	Fortluft Wohnung Erdgeschoss vor Gebäudeaustritt
TR 221	Aussenluft nach Erdregister
TR 231	Vorlauf Heizung
TR 232	Rücklauf Heizung
TR 233	Speicher oben *

TR 234	Speicher unten *
TR 241	Kaltwasser Eintritt Warmwasserspeicher
TR 242	Warmwasser nach Thermomischer
TR 243	Warmwasser Austritt Warmwasserspeicher

Die Temperaturen (ohne:*) werden jede Minute erfasst und alle 60 Minuten als Mittelwert abgespeichert.

* Diese Temperaturen werden über die SPS des BHKW's erfasst und monatlich abgelesen (max. 7 Tage)

Luftfeuchte

MR 300	Aussenluft
MR 301	Raumluft Wohnzimmer 1.OG rechts
MR 302	Raumluft Wohnzimmer 1.OG links
MR 303	Raumluft Wohnzimmer 2.OG rechts
MR 304	Raumluft Wohnzimmer 2.OG links
MR 305	Raumluft Wohnzimmer Attika
MR 306	Raumluft Gemeinschaftsraum Erdgeschoss
MR 307	Raumluft Treppenhaus unten
MR 308	Raumluft Treppenhaus mitte
MR 309	Raumluft Treppenhaus oben

Die relativen Feuchten werden jede Minute erfasst und alle 60 Minuten als Mittelwert abgespeichert.

Betriebszeit

KR 411	Öffnen Heizventil Wohnung 1.OG rechts
KR 412	Öffnen Heizventil Wohnung 1.OG links
KR 413	Öffnen Heizventil Wohnung 2.OG rechts
KR 414	Öffnen Heizventil Wohnung 2.OG links
KR 415	Öffnen Heizventil Attika
KR 416	Öffnen Heizventil Gemeinschaftsraum
K I 420	Betriebsstunden BHKW
K I 421	Startimpuls BHKW
KR 491	Öffnen Eingangstür

Die Betriebszustände (ein/aus) werden jede Minute erfasst und alle 60 Minuten als Mittelwert abgespeichert.

Die BHKW-Betriebsstunden und Startimpulse werden über die SPS des BHKW's erfasst und monatlich abgelesen.

Luftgeschwindigkeit

Die Luftgeschwindigkeitsmessungen dienen als Indikatoren für die Luftvolumenströme und Betriebsstufen. Bei der Installation der Messung wurden die Luftvolumenströme bei den verschiedenen Betriebsstufen gemessen und den entsprechenden Signalen der Luftgeschwindigkeitsfühler zugeordnet.

SR 513	Abluft Wohnung 2.OG rechts
SR 514	Abluft Wohnung 2.OG links
SR 515	Abluft Wohnung Attika

Die Luftgeschwindigkeiten werden jede Minute erfasst und alle 60 Minuten als Mittelwert abgespeichert.

Durchfluss

FR 641	Warmwasser, Eintritt in den Warmwasserspeicher
--------	--

Zähler mit Impulsausgang: jede Stunde wird der Stand elektronisch erfasst und abgespeichert.

Strahlung

QR 700	Globalstrahlung auf Südfassade
--------	--------------------------------

Die Strahlung wird jede Minute erfasst und alle 60 Minuten als Mittelwert abgespeichert.

Temporäre Messungen

Luftvolumenströme an den Durchlässen

Messgeräte

Datenerfassung

Der Datenlogger (Fabrikat Datataker) erfasst jede Minute Messwerte und bildet Stundenmittelwerte.

Elektrische Energie

Energie- und Leistungsmessgerät EMU 1.24K

Genauigkeit: $\pm 2\%$

Temperatur

Pt-100 Temperaturfühler

Genauigkeit der Messkette: 0.5 K

Durchfluss

Bestimmung der Luftvolumenströme pro Raum mit dem Messgerät Flowfinder

Genauigkeit: $\pm 7\%$

Bestimmung der Strömungsgeschwindigkeiten den Lüftungsgeräten

Strömungssensoren Schmidt SS20.501

Relative Luftfeuchtigkeit

Kapazitive Fühler

Genauigkeit: $\pm 5\%$ r.F.

3.2 Kontrolle der Luftvolumenströme an den Durchlässen

Die Luftvolumenströme an den Durchlässen wurden am 12. Juli 2002 kontrolliert. Hierbei wurden die folgenden Werte ermittelt. Nachfolgend werden die Bilanzen der einzelnen Wohneinheiten angegeben:

3.2.1 Messgerät

Fabrikat	Acin Flowfinder
Typ	153 complet
Log Nr.	1.08 HP 198

3.2.2 Messverfahren

Mit dem *Flowfinder* wird der Luftvolumenstrom am Durchlass gemessen. Dabei wird ein Ventilator nach der Nullpunkt-Ausgleichsmethode so gesteuert und eingestellt, dass der Durchflusswiderstand aufgehoben wird und dadurch in Kenntnis der Ventilatorkennlinie der Luftvolumenstrom ermittelt werden kann. Die Messdaten werden per Hand protokolliert.

3.2.3 Messresultate und Vergleich mit den Planungswerten

Messprotokoll Volumenströme 12.07.2002 B.Frei					
Attika Planungswert (m³/h)	Zuluft 120	Abluft 120	1.Obergeschoss rechts Planungswert (m³/h)	Zuluft 100	Abluft 100
3 Bad	-60		2 Zimmer	30	
4 Dusche/WC	-40		3 Zimmer	27	
5 Eltern	26		4 Zimmer	29	
6 Küche	-65		7 Dusche/WC		-44
7 Essen	25		8 Bad		-56
8 Wohnen	30		9 Küche		-80
8 Wohnen	25		10 Essen	25	
11 Zimmer	30		11 Wohnen	25	
12 Zimmer	21		13 Wintergarten	25	
13 Zimmer	27		Summe	161	-180
Summe (m³/h)	184	-165	Bilanz Vein-Vaus (m³/h)	-19	
Bilanz Vein-Vaus (m³/h)	19				
2.Obergeschoss links Planungswert (m³/h)	Zuluft 120	Abluft 120	1.Obergeschoss links Planungswert (m³/h)	Zuluft 120	Abluft 120
15 Wohnen	38		15 Wohnen	31	
15 Wohnen	38		16 Essen	33	
17 Bad	-76		17 Bad		-54
18 Küche	-80		18 Küche		-58
21 Zimmer	48		21 Zimmer	33	
22 Zimmer	42		22 Zimmer	31	
Summe	166	-156	Summe	128	-112
Bilanz Vein-Vaus (m³/h)	10		Bilanz Vein-Vaus (m³/h)	16	
2.Obergeschoss rechts Planungswert (m³/h)	Zuluft 100	Abluft 100	EG Gemeinschaftsraum Planungswert (m³/h)	Zuluft 80	Abluft 80
2 Zimmer	32		3 Disponibel	27	
3 Zimmer	24		4 Disponibel	36	
4 Zimmer	29		5 Dusche/WC		-36
7 Dusche/WC	-63		6 Gemeinschaft	29	
8 Bad	-58		6 Gemeinschaft	31	
9 Küche	-60		Summe	123	-36
11 Wohnen	25		Bilanz Vein-Vaus (m³/h)	87	
11 Wohnen	29				
13 Wintergarten	26				
Summe	165	-181	Untergeschoss Planungswert (m³/h)	Zuluft 120	Abluft 120
Bilanz Vein-Vaus (m³/h)	-16		2 Keller	*	
* Tellerventil mit Flowfinder nicht messbar			3 Keller	*	
			4 Keller	*	
			8 Hobbyraum	30	
			9 Hobbyraum	24	
			10 Waschen/Trocknen		
			11 Sauna	29	
			12 Dusche/WC		-20
			15 Keller	*	
			16 Keller	*	

Abbildung 21: Messprotokoll Volumenströme an den Durchlässen..

3.3 Vergleich der Klimadaten aus der Referenz Meteonorm und der Erfolgskontrolle

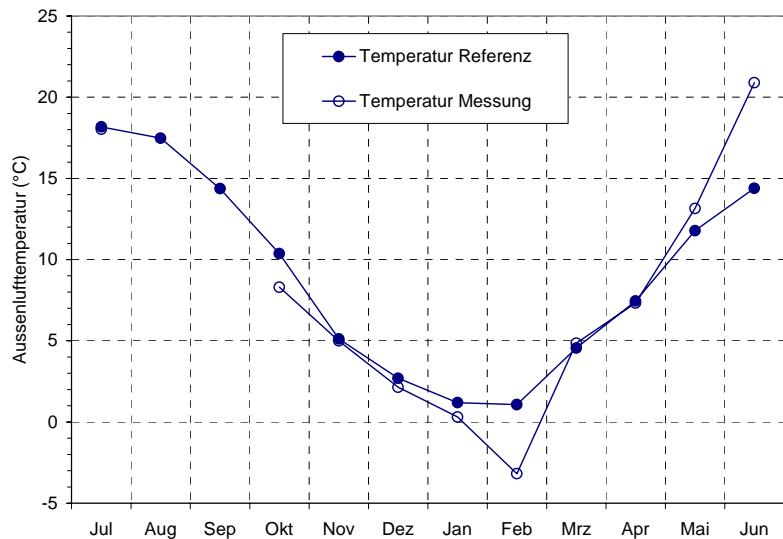


Abbildung 22: Verlauf der Aussenlufttemperatur von Juli 2002 bis Juni 2003.

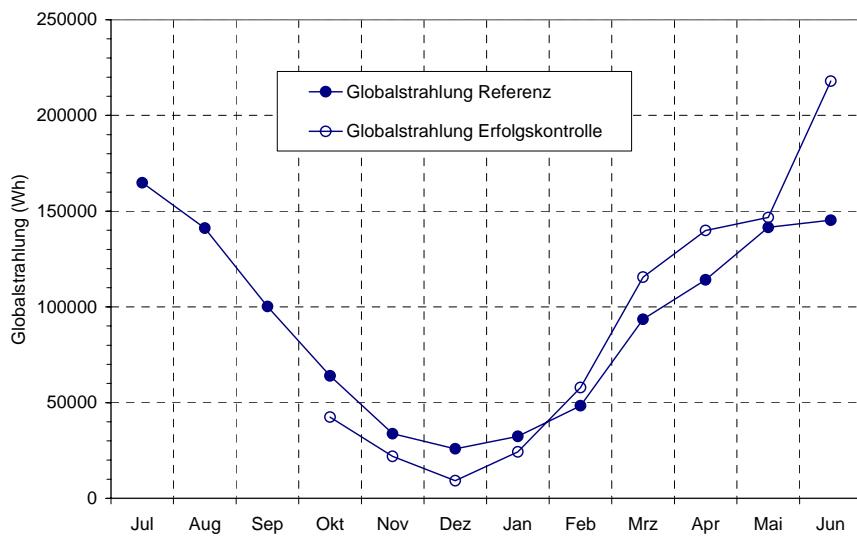


Abbildung 23: Verlauf der Globalstrahlung von Juli 2002 bis Juni 2003.

Im Februar 2003 wurden deutlich tiefere Temperaturen als im Referenzjahr registriert. Im Juni 2002 konnten deutlich grössere Wärmegewinne verzeichnet und daraus folgend entsprechend höheren Aussenlufttemperaturen registriert werden.

3.4 Zeitabhängige Temperatur- und Feuchteverläufe

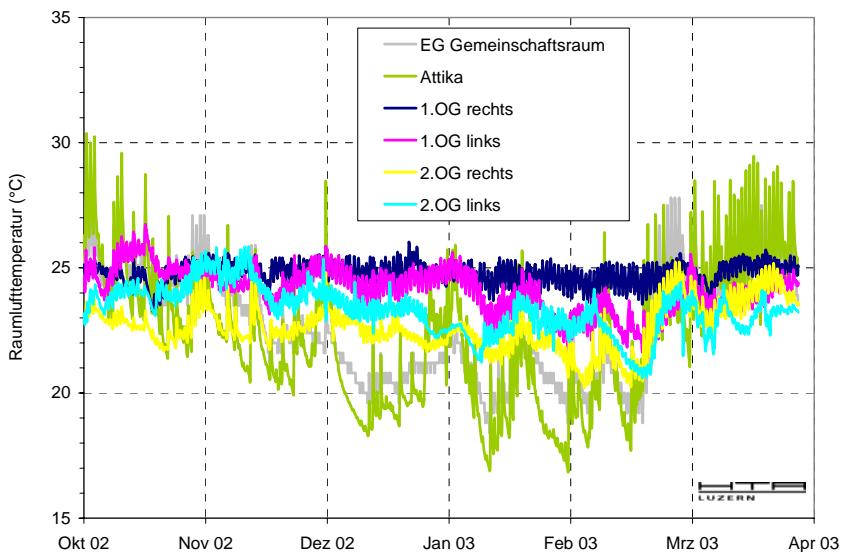


Abbildung 24: Verlauf der Temperaturen in den Wohnungen von Oktober 2002 bis März 2003.

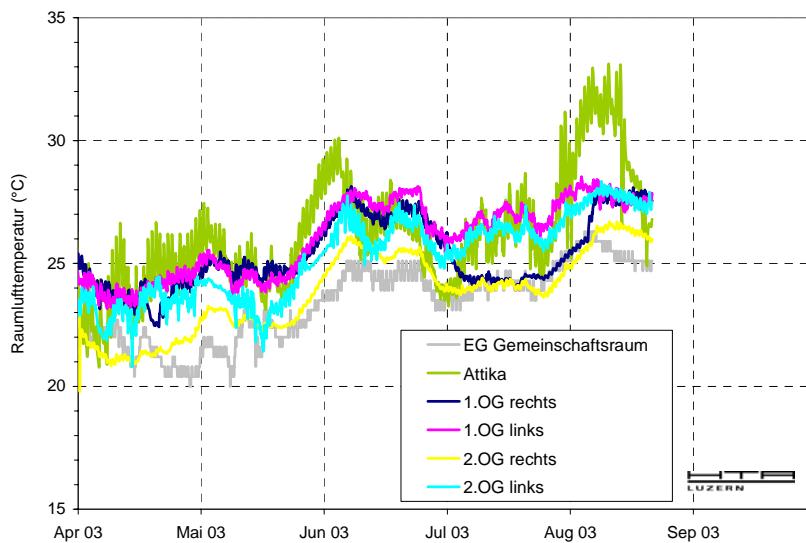


Abbildung 25: Verlauf der Temperaturen in den Wohnungen von April 2003 bis Juli 2003.

Der Temperaturverlauf in der Attika ist von grösseren Temperaturschwankungen geprägt. Abweichungen nach unten im Vergleich zu den anderen Wohnungen können sich aus angekippten Fenstern ergeben. Abweichungen nach oben sind möglicherweise durch das Nichtbetätigen des Sonnenschutzes infolge Abwesenheit zu erklären.

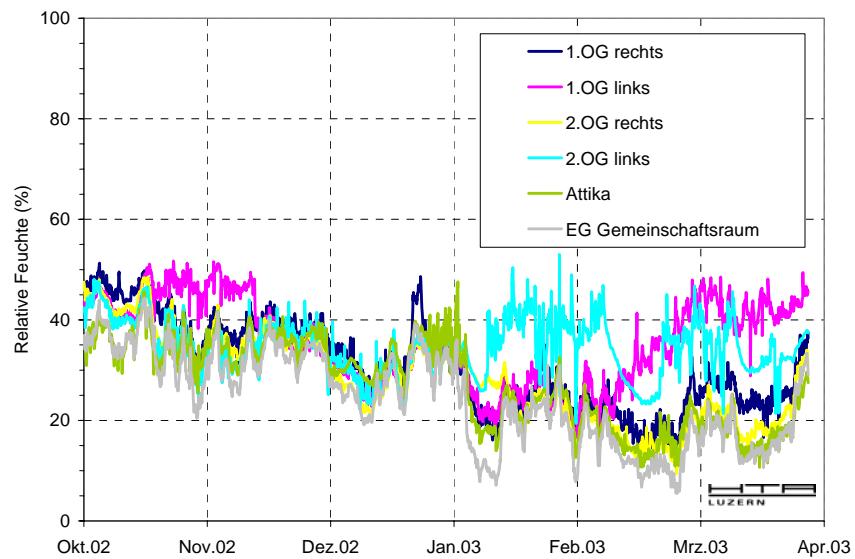


Abbildung 26: Verlauf der relativen Feuchte in den Wohnungen von Oktober 2002 bis März 2003.

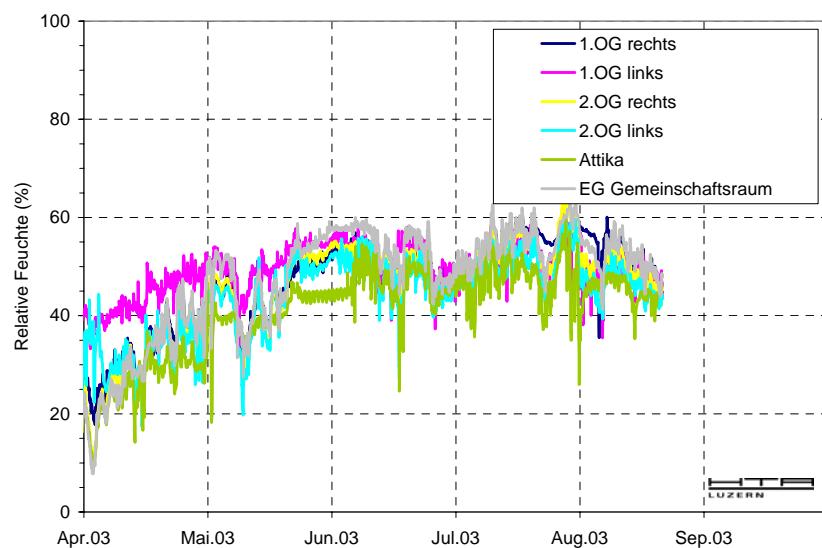


Abbildung 27: Verlauf der relativen Feuchte in den Wohnungen von April 2003 bis August 2003.

Die relative Feuchte sinkt bei tiefen Aussenlufttemperaturen unter 20%. Wohnungen mit grösserer Präsenz und Belegung zeigen nicht unerwartet entsprechend höhere Werte.

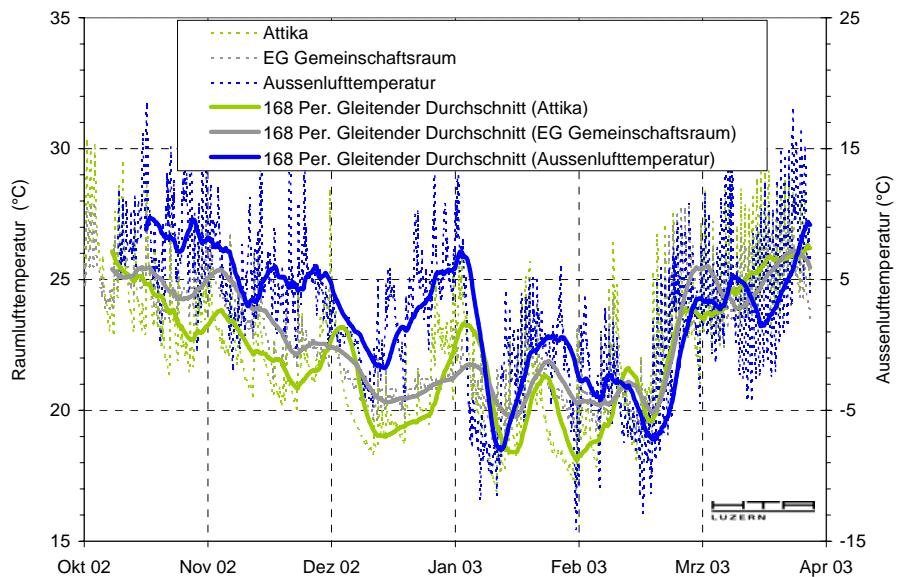


Abbildung 28: Verlauf der Temperaturen in der Attika und im Erdgeschoss von Oktober 2002 bis März 2003.

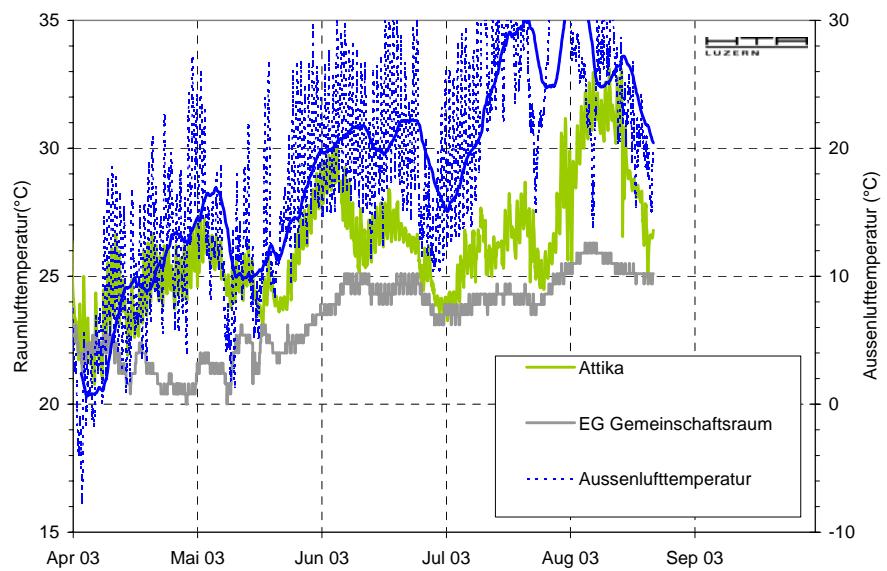


Abbildung 29: Verlauf der Temperaturen in der Attika und im Erdgeschoss von April 2003 bis August 2003.

Die Attika zeigt bei hohen Aussenlufttemperaturen Anzeichen von Überhitzung. Mögliche Ursache ist das Nichtbetätigen des Sonnenschutzes infolge Abwesenheit. Bei tiefen Aussenlufttemperaturen werden niedrige Raumlufttemperaturen sowohl in der Attika als auch im Gemeinschaftsraum registriert. Mögliche Ursache ist das Ankippen von Fenstern bei längerer Abwesenheit.

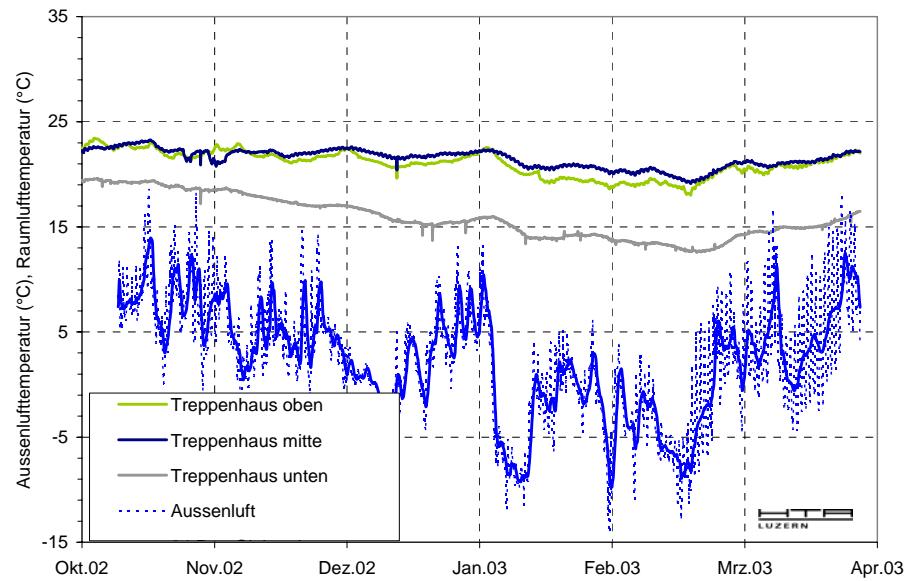


Abbildung 30: Verlauf der Temperaturen im Treppenhaus von Oktober 2002 bis März 2003.

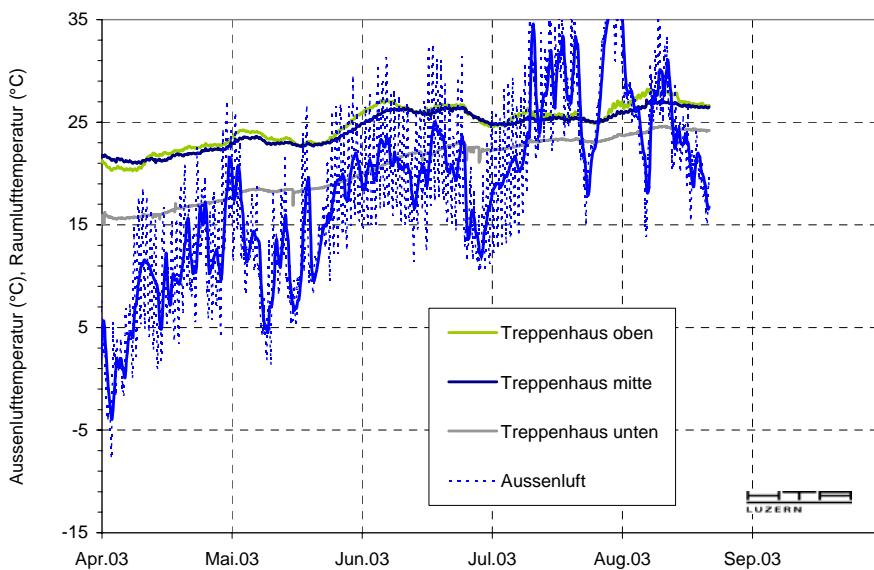


Abbildung 31: Verlauf der Temperaturen im Treppenhaus von April 2003 bis August 2003.

Der Verlauf der Temperaturen wird durch die Benutzung des Liftes und die Aussentüre nicht beeinflusst. Grössere Schwankungen der Außenlufttemperatur und das Ausbleiben einer Reaktion der Raumlufttemperatur belegen dies. Der Unterschied zwischen den Positionen Treppenhaus mitte und oben ist marginal (0.3 bis 0.5 K). Hingegen zeigt sich eine signifikante Temperaturdifferenz zwischen den Positionen Treppenhaus oben/mitte und unten (4 bis 5 K)

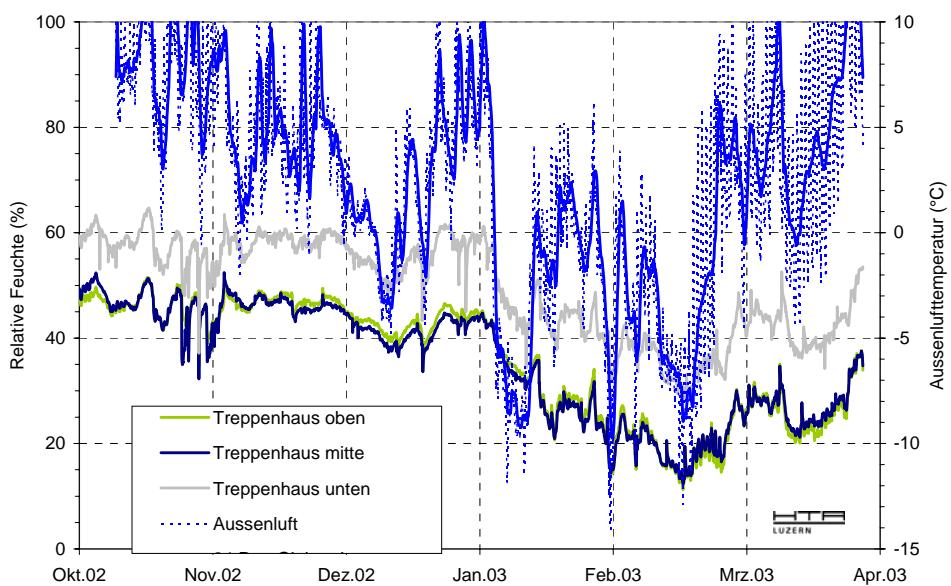


Abbildung 32: Verlauf der relativen Feuchte im Treppenhaus von Oktober 2002 bis März 2003.

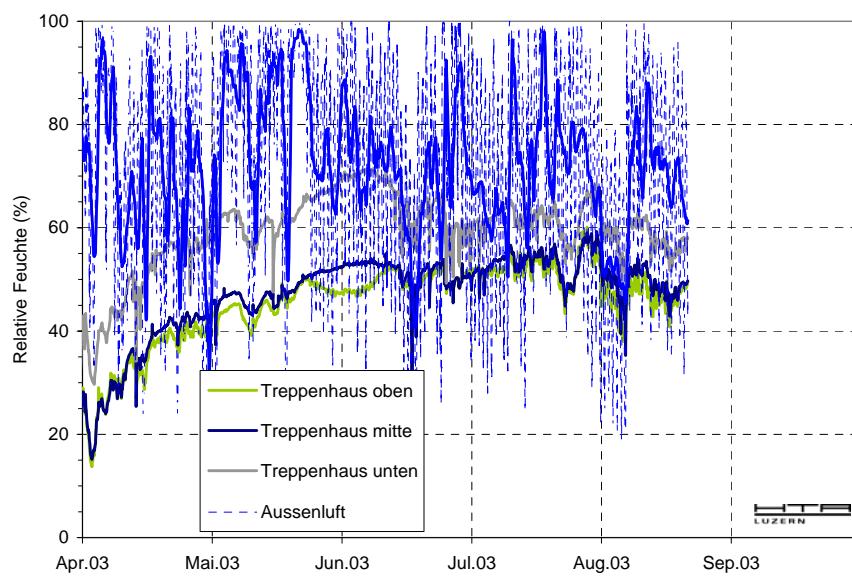


Abbildung 33: Verlauf der relativen Feuchte im Treppenhaus von April 2003 bis August 2003.

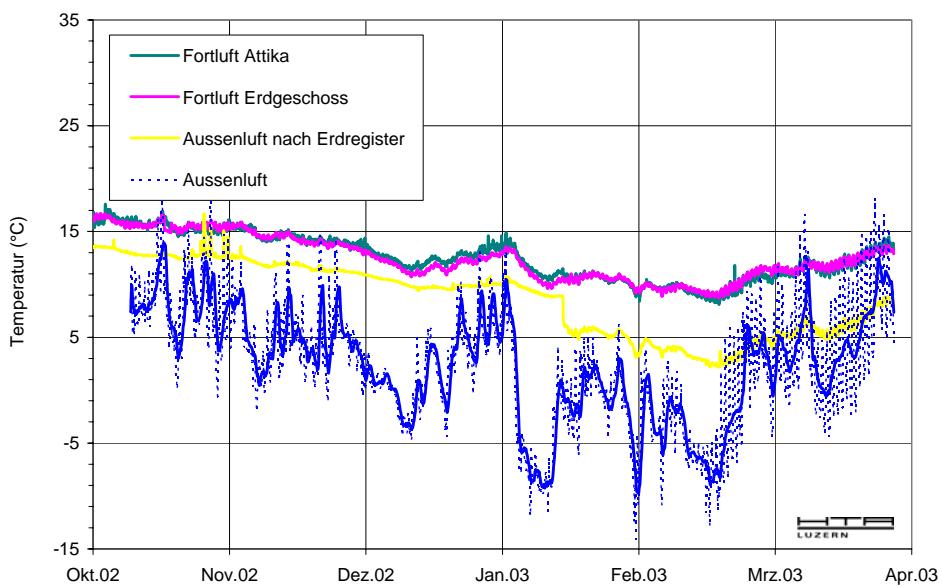


Abbildung 34: Verlauf der Temperaturen im Lufterdregister und Fortluft WRG von Oktober 2002 bis März 2003.

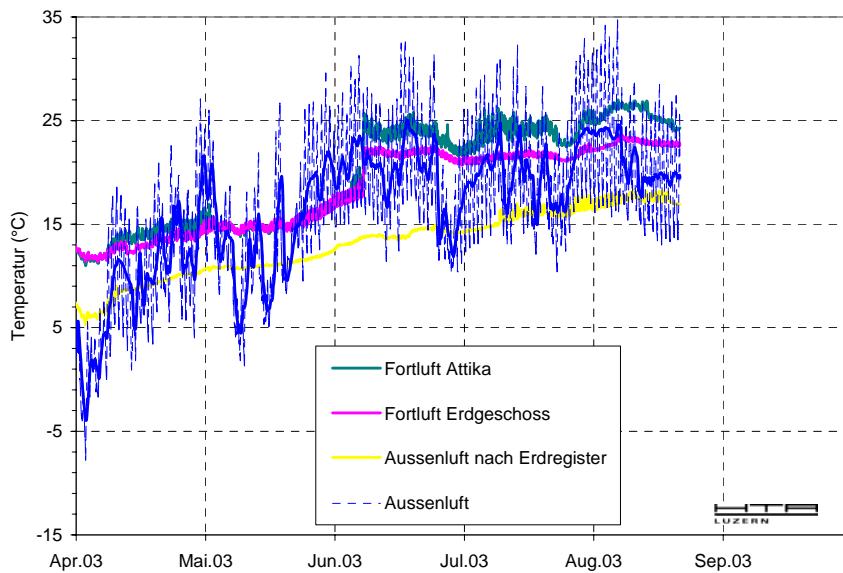


Abbildung 35: Verlauf der Temperaturen im Lufterdregister und Fortluft WRG von April 2003 bis August 2003.

Die Austrittstemperatur aus dem Luft - Erdregister sinkt auch in längeren Kälteperioden nicht unter 2 °C. Bei Perioden mit hoher Aussenlufttemperatur steigt die Austrittstemperatur aus dem Luft – Erdregister nicht über 15°C.

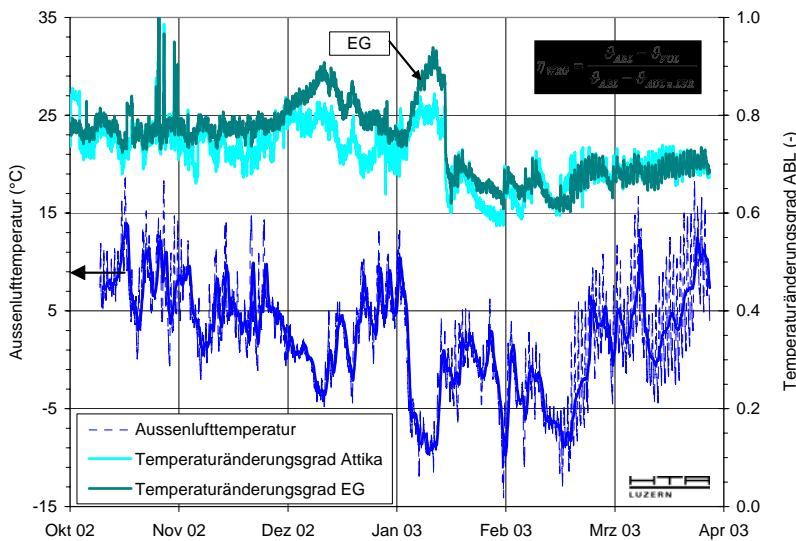


Abbildung 36: Temperaturänderungsgrad der Wärmerückgewinnung bezogen auf die Abluftseite von Oktober 2002 bis März 2003.

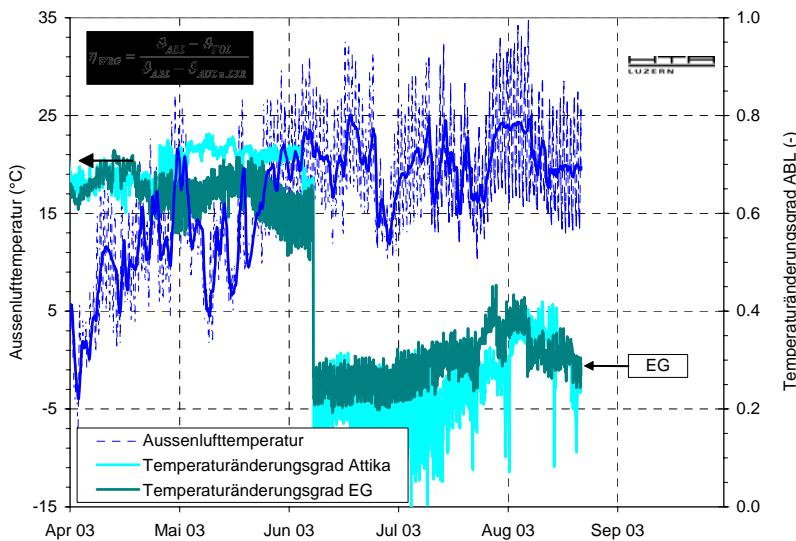


Abbildung 37: Temperaturänderungsgrad der Wärmerückgewinnung bezogen auf die Abluftseite von April 2003 bis August 2003.

Der Temperaturänderungsgrad erreicht während der Heizsaison Werte zwischen 0.6 und 0.9. Ab Juni 2003 wurden die Plattenwärmeübertragerboxen für den Sommerbetrieb ausgetauscht (vergl. Abbildung 14).

3.5 Korrelationsdiagramme für Temperatur und relative Feuchte

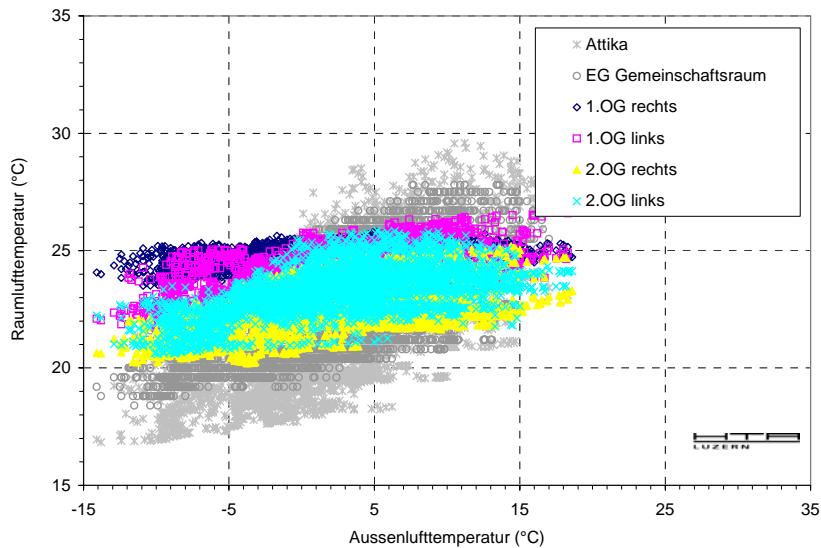


Abbildung 38: Raumlufttemperaturen in Korrelation zur Aussenlufttemperatur von Oktober 2002 bis März 2003.

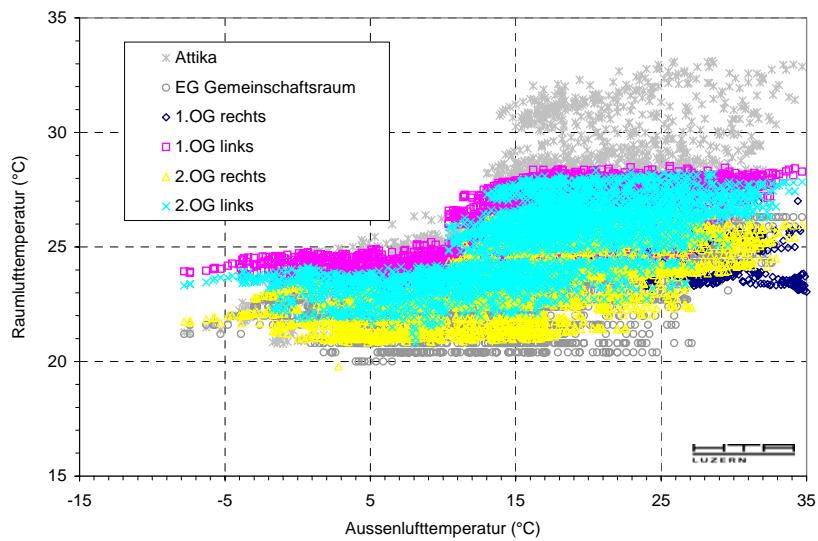


Abbildung 39: Raumlufttemperaturen in Korrelation zur Aussenlufttemperatur von April 2003 bis August 2003.

Die Temperaturen in der Attikawohnung sinken in der Periode Oktober bis März teilweise unter 20 °C. Von April bis August wurden in der Attikawohnung Temperaturen von deutlich über 28 °C registriert. Vermutlich wirkten sich Abwesenheiten der Bewohner auf die Betätigung des Sonnenschutzes aus. Die restlichen Temperaturen liegen mit Ausnahme des Gemeinschaftsraumes innerhalb eines Bandes von 20 bis 28 °C.

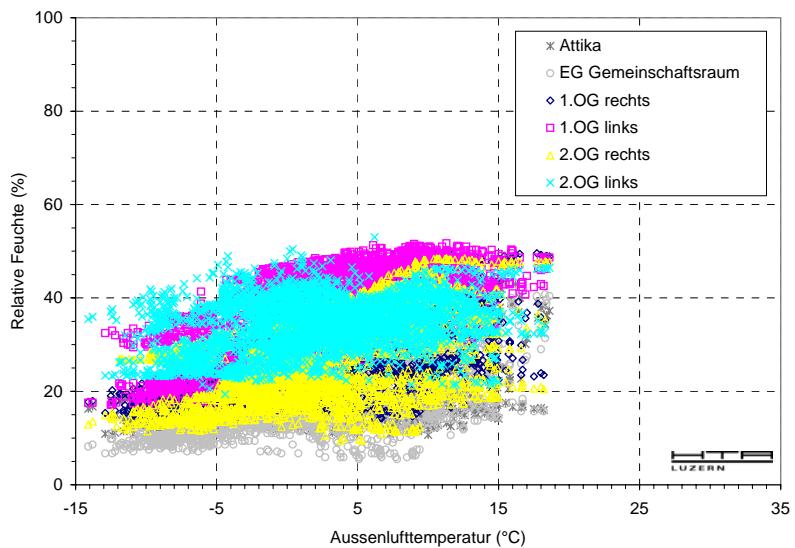


Abbildung 40: Relative Raumluftfeuchten in Korrelation mit der Aussenlufttemperatur vom Oktober 2002 bis März 2003.

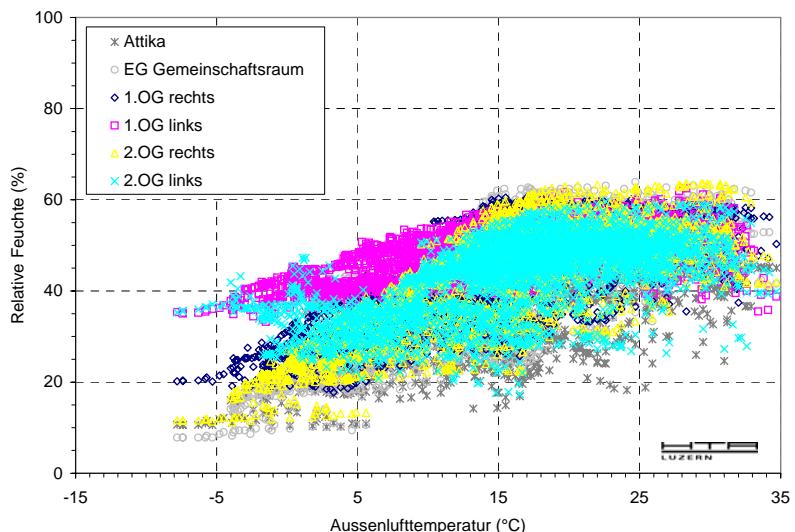


Abbildung 41: Relative Raumluftfeuchten in Korrelation mit der Aussenlufttemperatur vom April 2003 bis Juli 2003.

Bei tieferen Aussenlufttemperaturen sinkt die relative Feuchte auf Werte unter 20%. Die Minimalwerte liegen um 10%, welche zugleich den unteren Messbereich der Feuchtesensoren markiert.

3.6 Korrelationsdiagramme für die absolute Feuchte

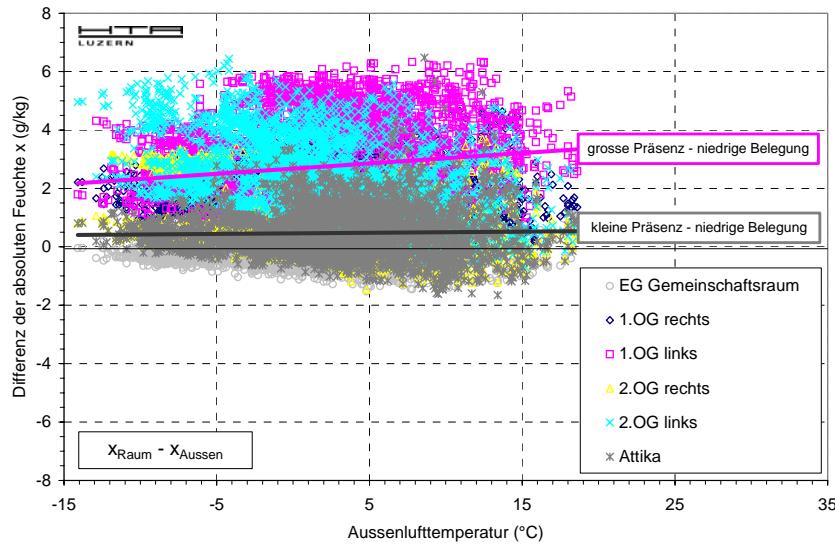


Abbildung 42: Verlauf der Feuchtedifferenz in Korrelation zur Aussenlufttemperatur von Oktober 2002 bis März 2003

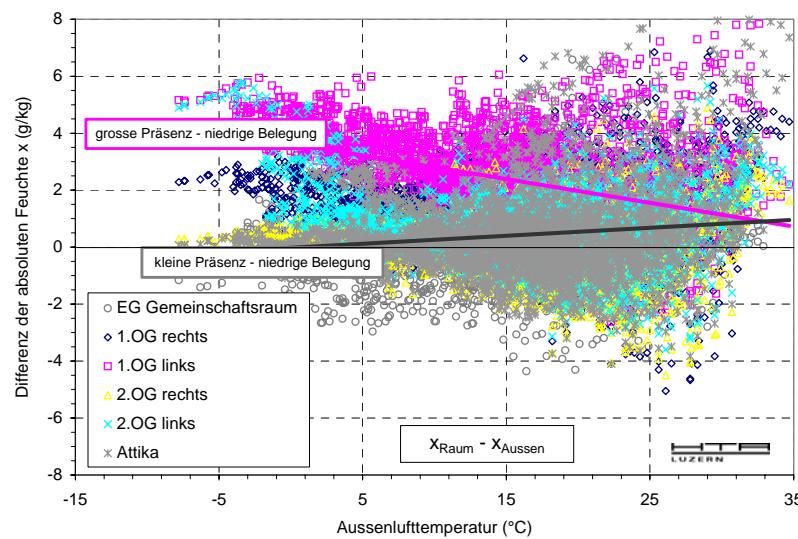


Abbildung 43: Verlauf der Feuchtedifferenz in Korrelation zur Aussenlufttemperatur von April 2003 bis Juli 2003

3.7 Diagramme für die kumulierte Häufigkeit der Betriebszustände

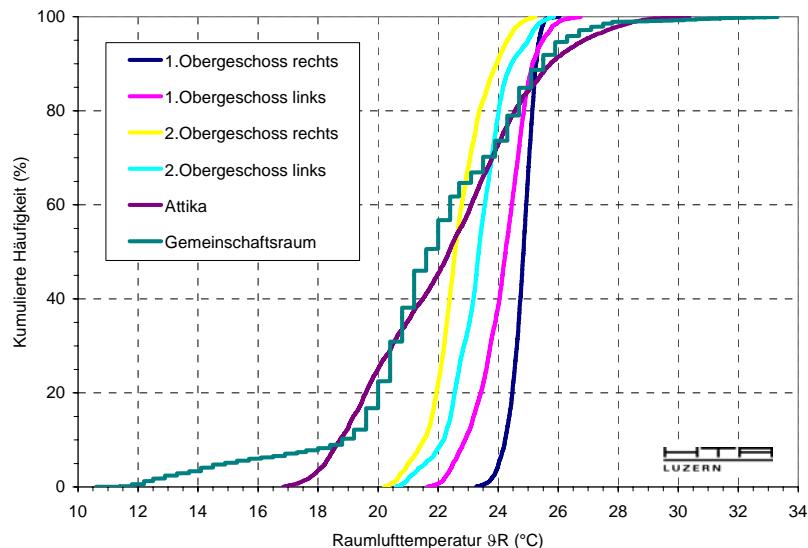


Abbildung 44: Kumulierte Häufigkeit der Raumlufttemperaturen von Oktober 2002 bis März 2003.

Stunden mit Temperaturen unter 20 °C	Attika	Gemeinschaftsraum	2. OG links
Oktober 2002 bis März 2003	1065 (24 %)	731 (17 %)	0 (0 %)

Tabelle 2: Stunden mit Temperaturen unter 20 °C von Oktober 2002 bis März 2003.

Im Gemeinschaftsraum und in der Attika fallen zwischen 700 und 1000 Stunden an, an denen die Raumlufttemperatur unter 20 °C liegt.

Als Erklärung sollten die folgenden Punkte in Betracht gezogen werden:

- Angekippte Fenster während Abwesenheiten
- Verluste über Wärmebrücken bei eingeschobene Garagen EG und bei allseitig zurückversetzter Attika

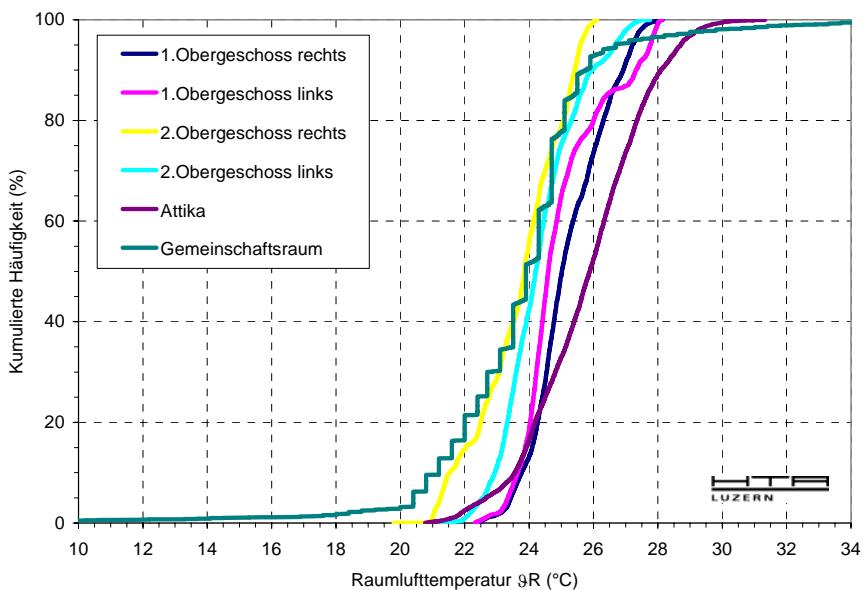


Abbildung 45: Kumulierte Häufigkeit der Raumlufttemperaturen von Juli bis September 2002 und von April bis Juni 2003.

<i>Stunden mit Temperaturen unter 20 °C</i>	<i>Gemeinschaftsraum</i>
<i>Juli bis Sept. 2002 / April bis Juni 2003</i>	<i>123 (3 %)</i>

Tabelle 3: Stunden mit Temperaturen unter 20 °C Juli bis September 2002 und von April bis Juni 2003.

<i>Stunden mit Temperaturen über 28 °C</i>	<i>Attika</i>	<i>Gemeinschaftsraum</i>
<i>Juli bis Sept. 2002 / April bis Juni 2003</i>	<i>463 (11 %)</i>	<i>149 (3 %)</i>

Tabelle 4: Stunden mit Temperaturen über 28 °C von Juli bis September 2002 und von April bis Juni 2003.

Im Gemeinschaftsraum und in der Attika fallen zwischen 150 und 460 Stunden an, an denen die Raumlufttemperatur über 28 °C liegt.

Als Erklärung sollten die folgenden Punkte in Betracht gezogen werden:

- Nichtbetätigen des Sonnenschutzes während Abwesenheiten
- Ausserbetriebnahme der Wohnungslüftungsgeräte während Abwesenheiten

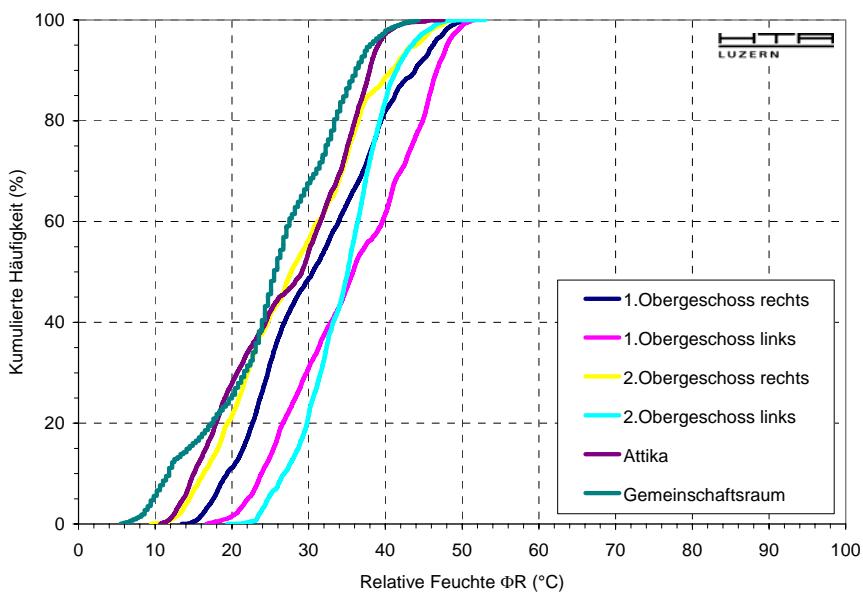


Abbildung 46: Kumulierte Häufigkeit der relativen Feuchte von Oktober 2002 bis März 2003.

<i>Stunden mit rel. Feuchte unter 30 %</i>	<i>2.OG links</i>	<i>2. OG rechts</i>	<i>Gemeinschaftsraum</i>
<i>Oktober 2002 bis März 2003</i>	923 (21 %)	2456 (56 %)	2953 (67 %)

Tabelle 5: Stunden mit relativer Feuchte unter 30 % von Oktober 2002 bis März 2003.

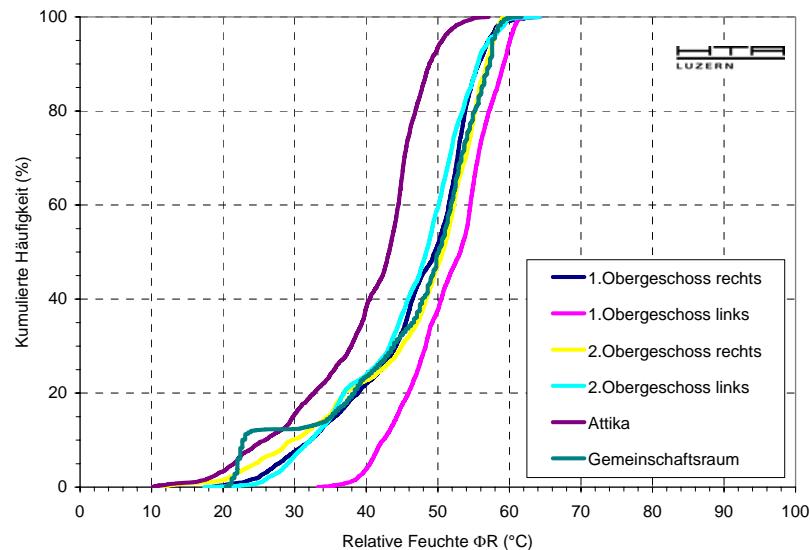


Abbildung 47: Kumulierte Häufigkeit der relativen Feuchte von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.

Stunden mit rel. Feuchte unter 30 %	2.OG links	2. OG rechts	Gemeinschaftsraum
Juli bis Sept. 2002 / April bis Juni 2003	291 (7 %)	444 (10 %)	542 (12 %)

Tabelle 6: Stunden mit relativer Feuchte unter 30 % von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.

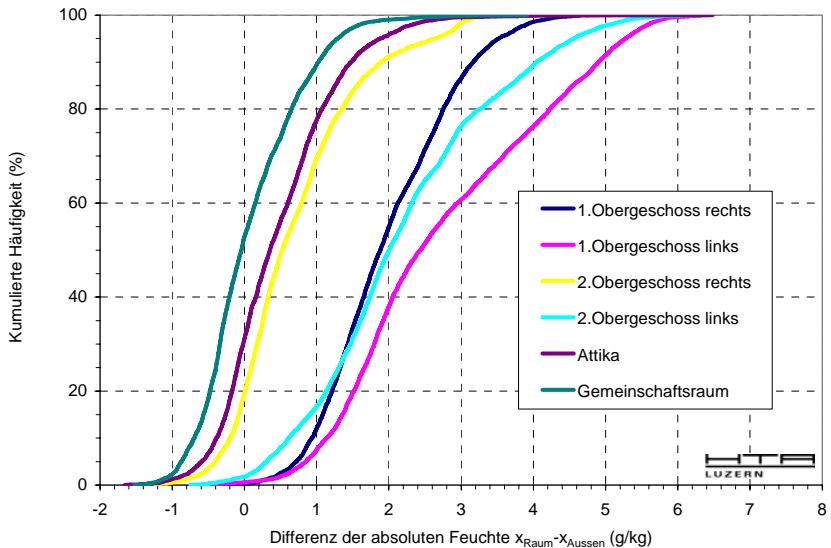


Abbildung 48: Kumulierte Häufigkeit der Feuchtedifferenzen von Oktober 2002 bis März 2003.

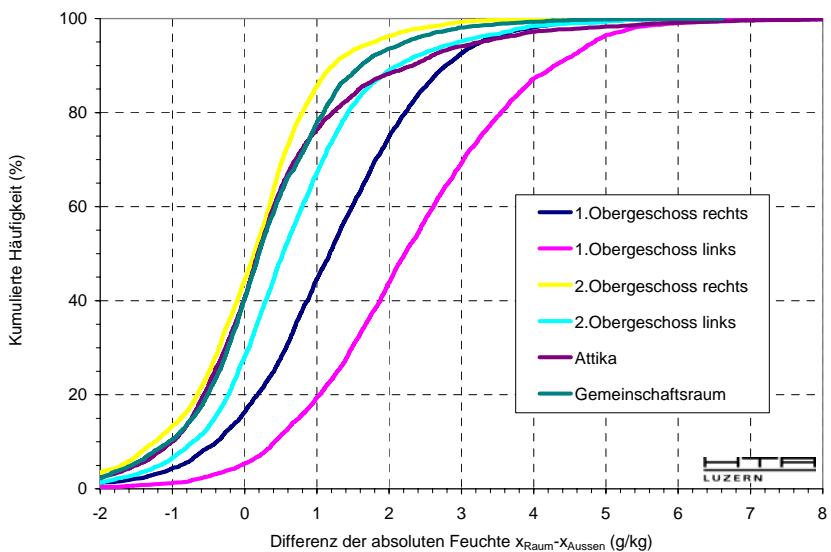


Abbildung 49: Kumulierte Häufigkeit der Feuchtedifferenzen von April 2003 bis August 2003.

In der Periode von Oktober 2002 bis März 2003 wird deutlich, dass die Wohnungen Attika, 1.Obergeschoss rechts und Gemeinschaftsraum eine niedrige Präsenz bei gleichzeitig tiefer Belegung aufweisen. Interne Gewinne kommen im Vergleich zu den anderen Wohnungen nur unwesentlich zum Tragen. Eine positive Feuchtedifferenz bedeutet internen Gewinn - eine negative Differenz weist auf einen Feuchteeintrag von aussen hin.

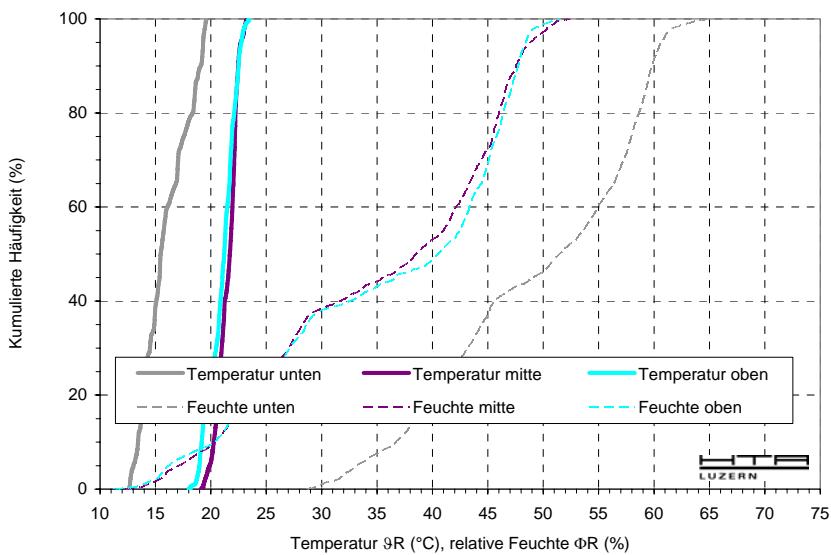


Abbildung 50: Kumulierte Häufigkeit der Temperatur und der relativen Feuchte im Treppenhaus von Oktober 2002 bis März 2003.

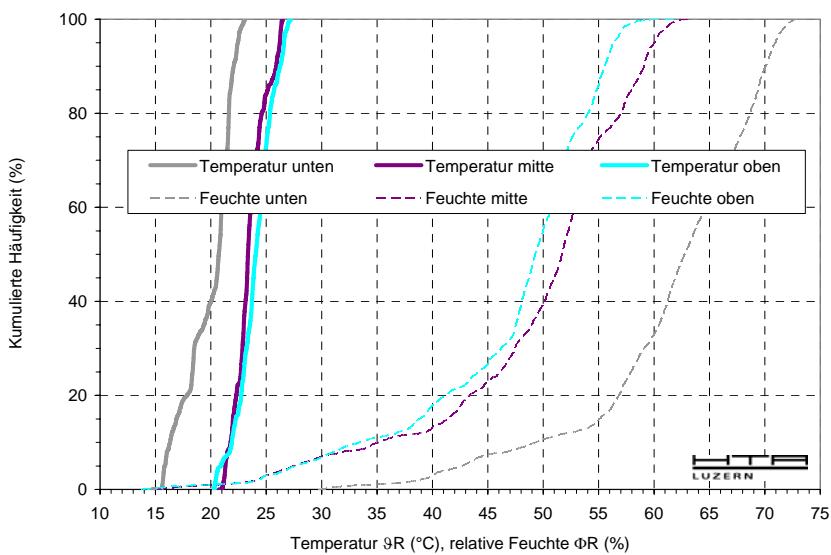


Abbildung 51: Kumulierte Häufigkeit der Temperatur und der relativen Feuchte im Treppenhaus von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.

Im Treppenhaus unterscheiden sich die Positionen oben und mittie nur unwesentlich. Im Kellergeschoß wurden zwischen 3 K (Sommer) und 5 K (Winter) tiefere Temperaturen registriert. Korrespondierend hierzu die registrierten Feuchten an den drei Positionen.

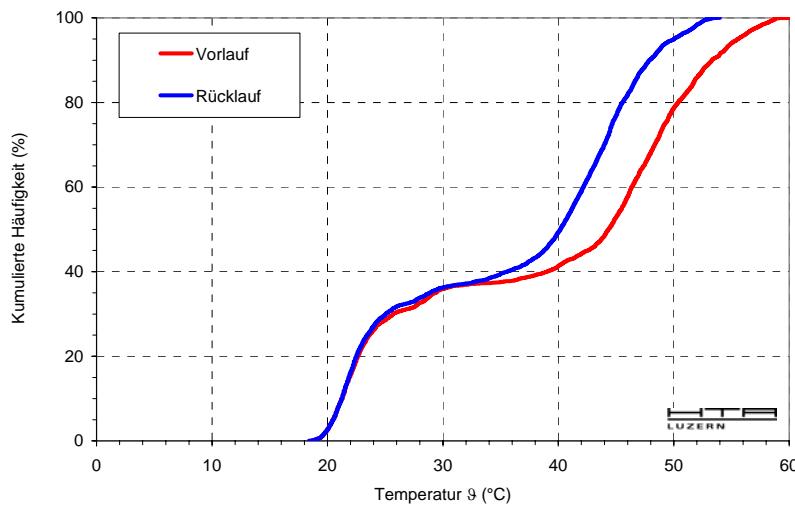


Abbildung 52: Kumulierte Häufigkeit der Vor- und Rücklauftemperatur von Oktober 2002 bis März 2003.

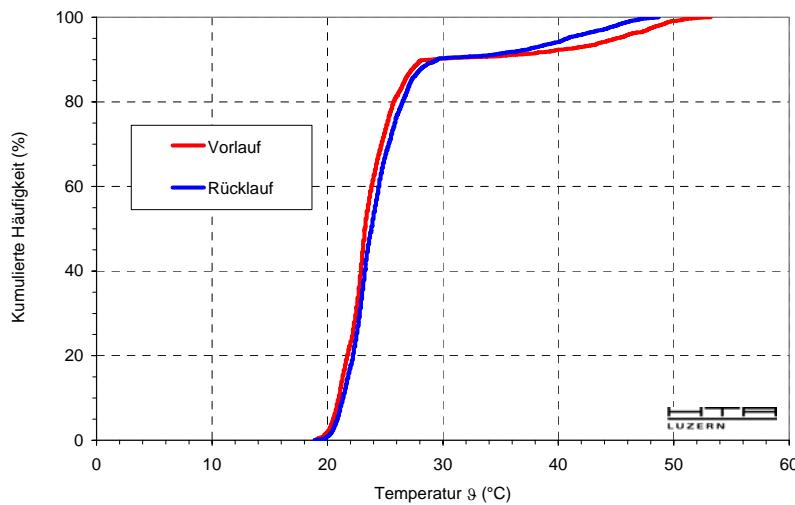


Abbildung 53: Kumulierte Häufigkeit der Vor- und Rücklauftemperatur von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.

Während der Heizperiode betrug die durchschnittliche Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf 5 K. Bei einer Vorlauftemperatur von 60 °C hat sich eine Rücklauftemperatur von 54 °C eingestellt.

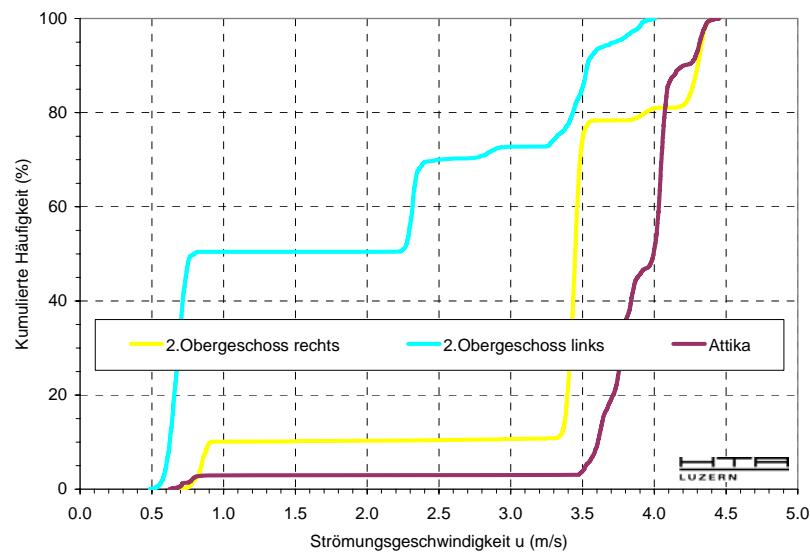


Abbildung 54: Kumulierte Häufigkeit der Wohnungslüftungsgeräte-Betriebszustände von Oktober 2002 bis März 2003.

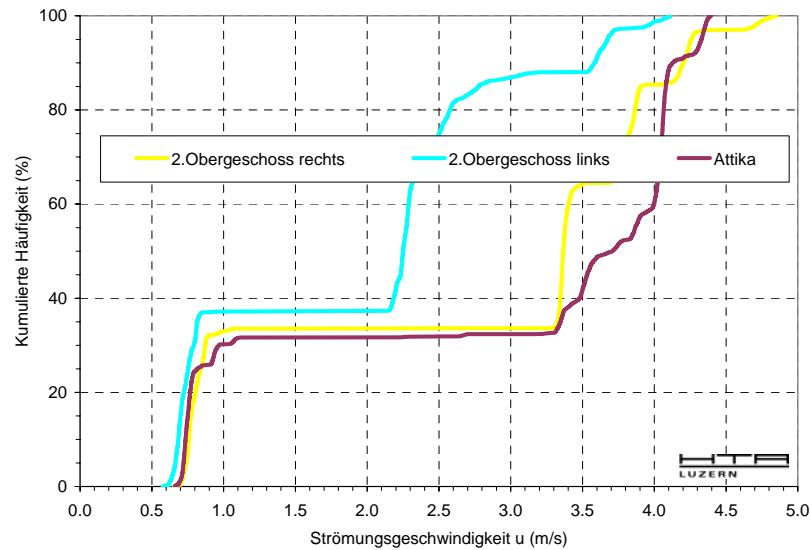


Abbildung 55: Kumulierte Häufigkeit der Wohnungslüftungsgeräte-Betriebszustände von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.

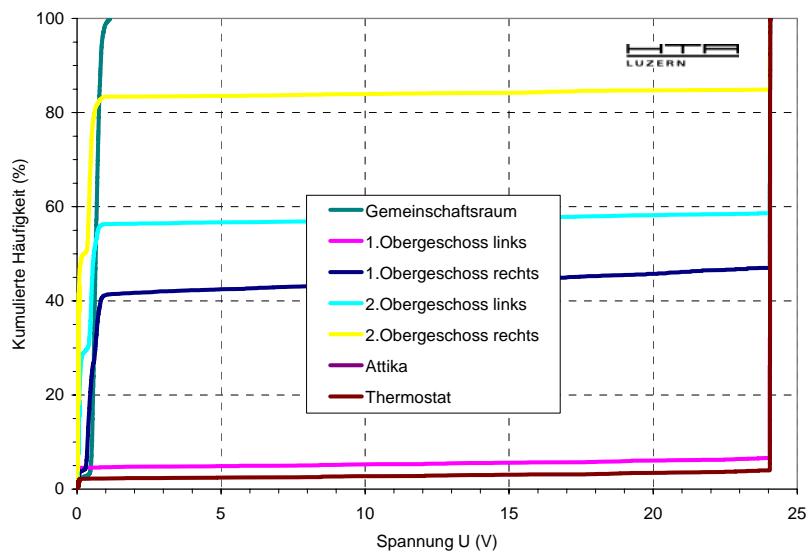


Abbildung 56: Kumulierte Häufigkeit der Luftheritzer-Betriebszustände von Oktober 2002 bis März 2003.

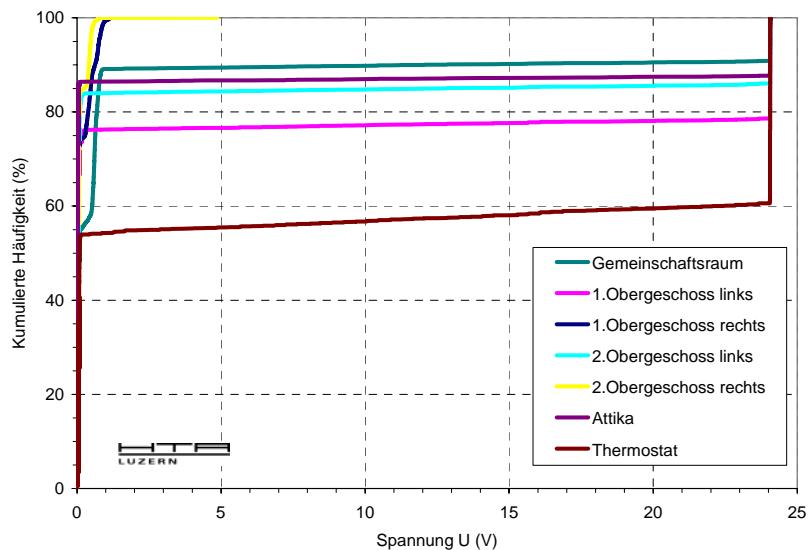


Abbildung 57: Kumulierte Häufigkeit der Luftheritzer-Betriebszustände von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.

Aufgetragen ist der Betriebszustand des Luftheritzers der jeweiligen Wohneinheit. Es werden die beiden Zustände 0 V = aus und 24 V = ein unterschieden.

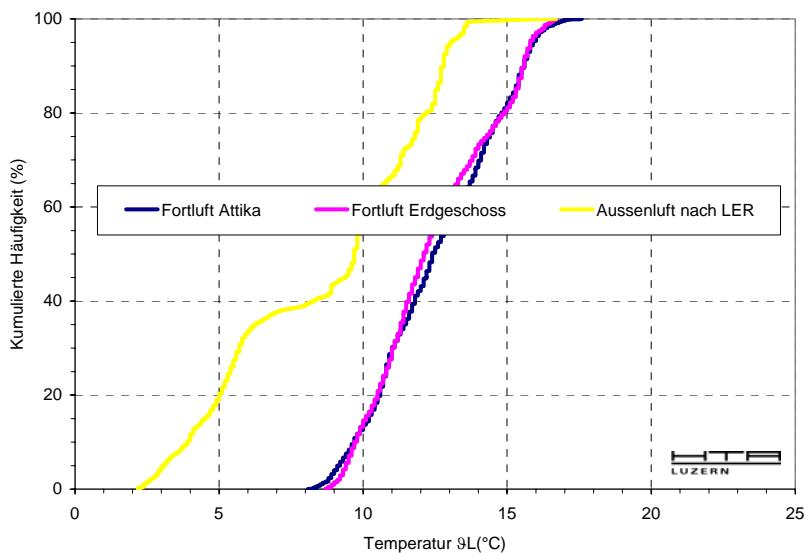


Abbildung 58: Kumulierte Häufigkeit der Fortluft- und Aussenlufttemperatur (nach LER) von Oktober 2002 bis März 2003.

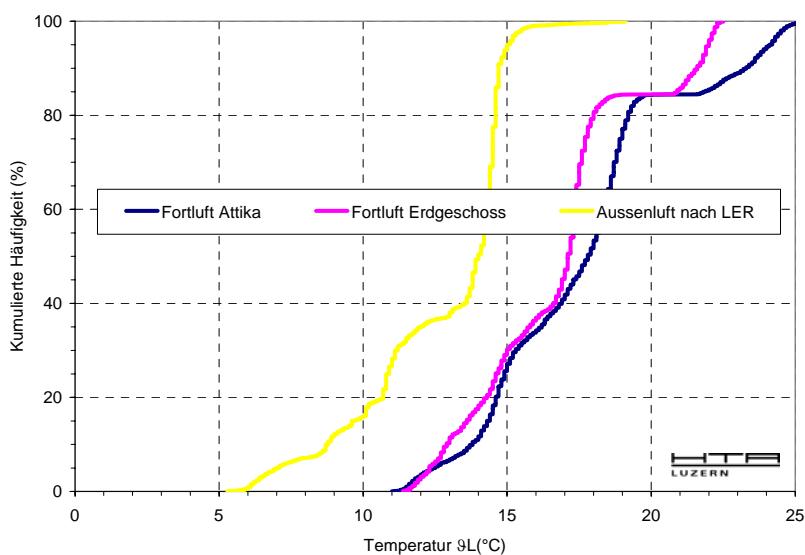


Abbildung 59: Kumulierte Häufigkeit der Fortluft- und Aussenlufttemperatur (nach LER) von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.

Fortluft Attika und Fortluft Erdgeschoss, jeweils gemessen vor dem Gebäudeaustritt, zeigen eine gute Übereinstimmung. Demzufolge sind die internen Gewinne vom Gerätestandort Erdgeschoss bis zum Gebäudeaustritt für die Fortluft Erdgeschoss klein. Somit sind die Steigzonen gut wärmegedämmt.

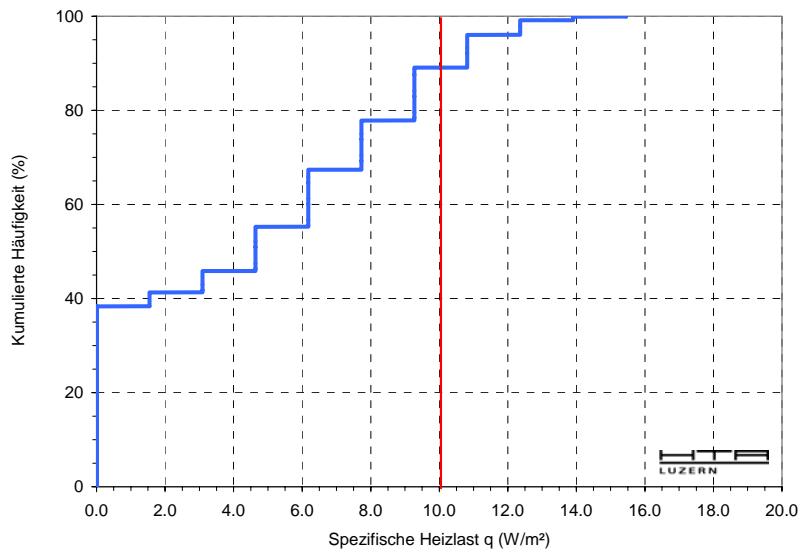


Abbildung 60: Kumulierte Häufigkeit der spezifischen Heizlast von Oktober 2002 bis März 2003.

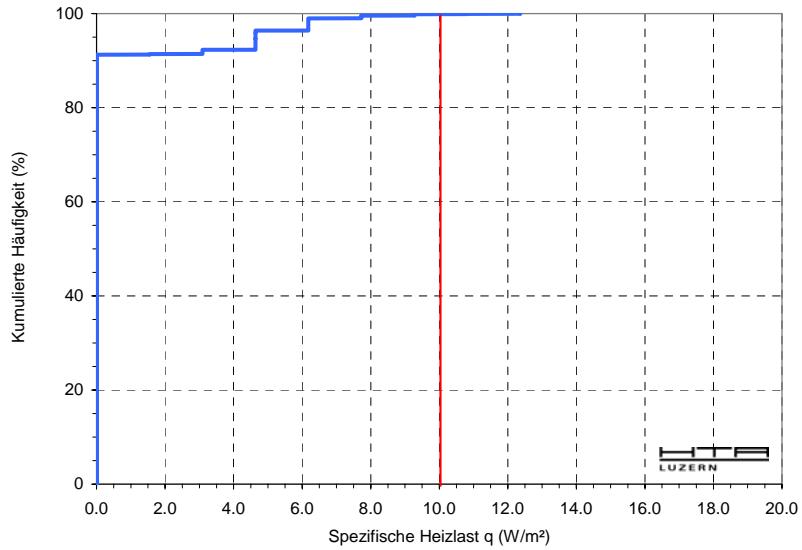


Abbildung 61: Kumulierte Häufigkeit der spezifischen Heizlast von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.

In der Periode von Oktober 2002 bis März 2003 lag die spezifische Heizlast während 78 % der erfassten Stunden unter 10 W/m². In der Periode von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003 wurden keine nennenswerten Überschreitungen der spezifischen Heizlast von 10 W/m² registriert.

3.8 Typische Wochen

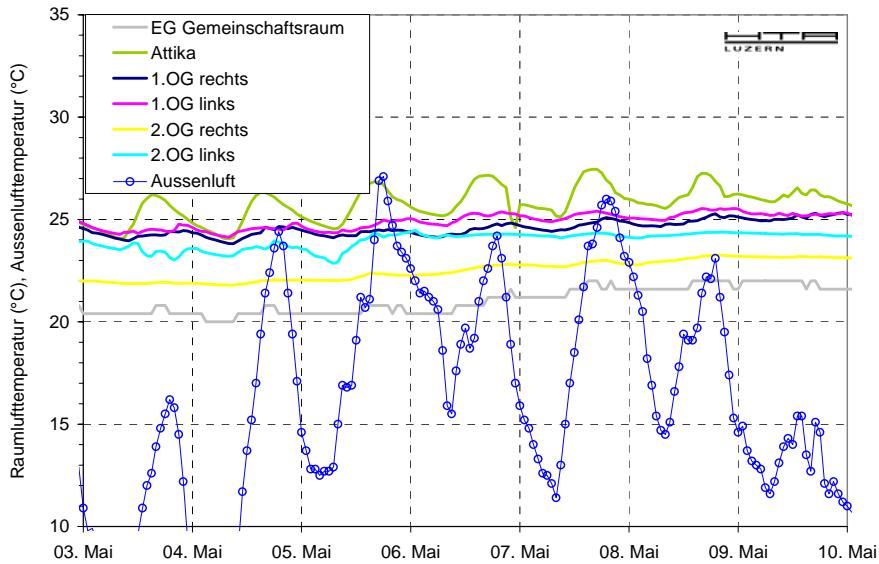


Abbildung 62: Temperaturverlauf in der Übergangszeit.

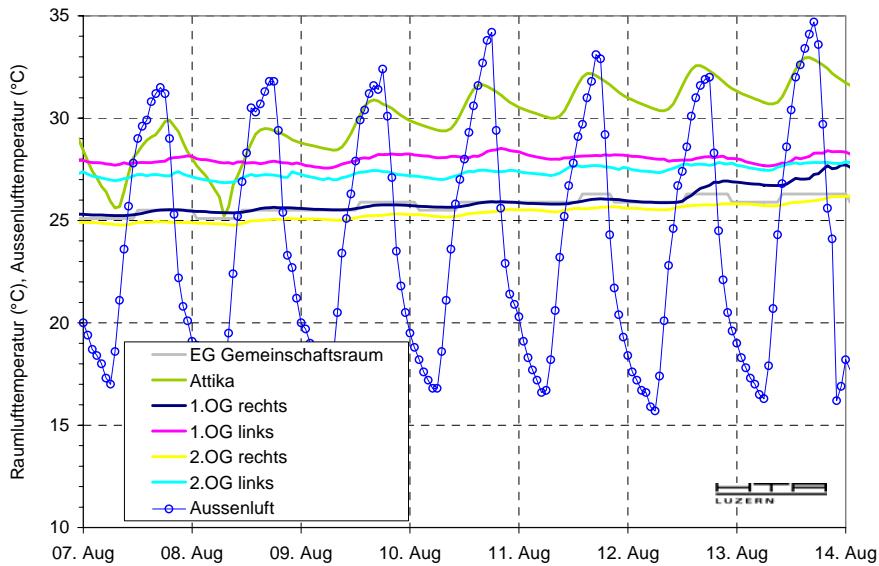


Abbildung 63: Temperaturverlauf in der wärmsten Sommerwoche 2003.

Deutlich sichtbar ist der Einfluss intensiver Sonneneinstrahlung auf den Temperaturverlauf in der Attika. Möglicherweise bleibt infolge Abwesenheit der Sonnenschutz ungenutzt.

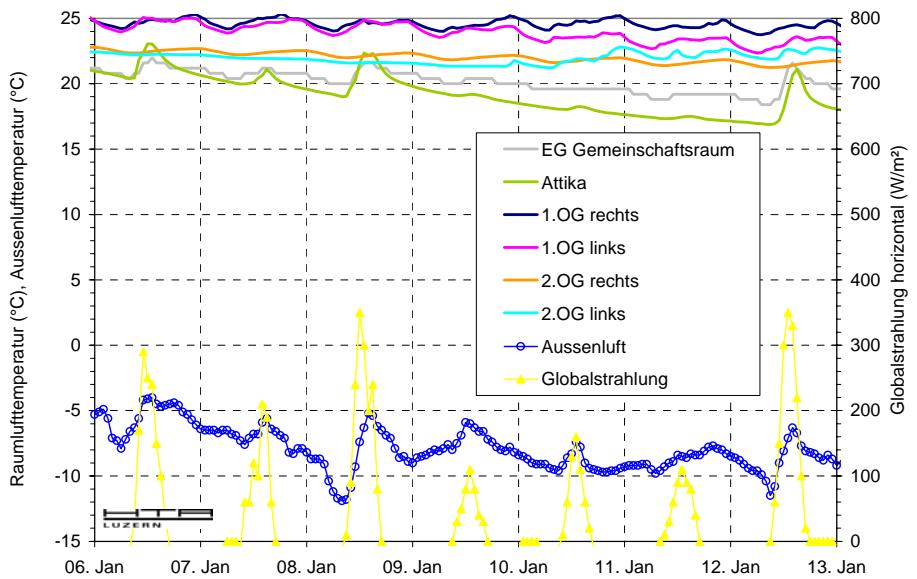


Abbildung 64: Temperaturverlauf in einer kalten Winterwoche 2003.

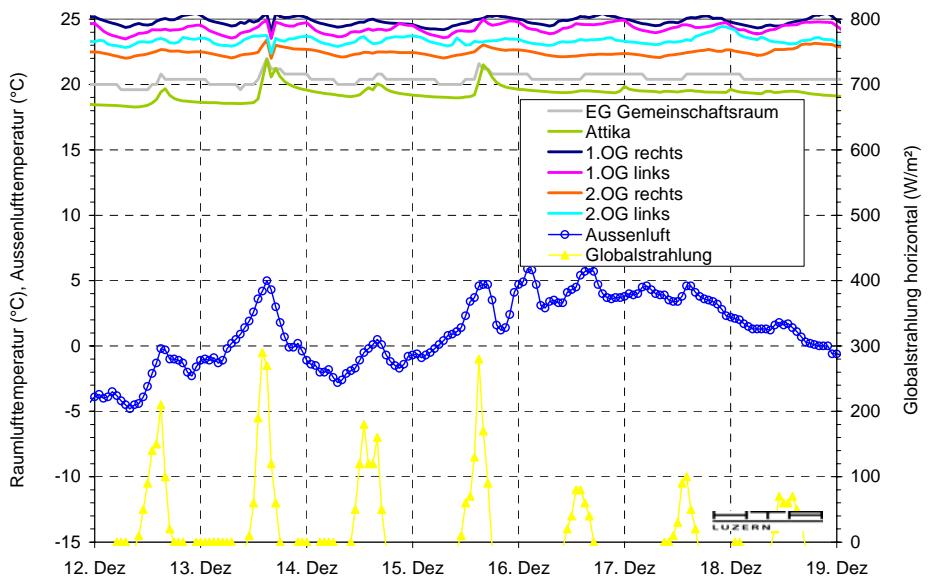


Abbildung 65: Temperaturverlauf in einer moderaten Winterwoche 2002.

Der Temperaturverlauf der Attika in Abbildung 64 könnte auf erhöhte Wärmeverluste infolge von Wärmebrücken hinweisen. Das Attikageschoss ist allseitig zurückversetzt und dementsprechend empfindlicher auf dämmtechnische Schwachstellen. Deutlich ist im Temperaturverlauf der Einfluss der Sonneneinstrahlung sichtbar.

3.9 Zusammenstellung charakteristischer Zahlenwerte

Oktober 2002 bis März 2003

	Temperatur Aussenluft °C	Feuchte Aussenluft % F	Temperatur Vorlauf Heizung °C	Temperatur Rücklauf Heizung °C	Temperatur Eintr. Kaltw. °C	Kaltw. Speicher °C	Temperatur Warmw.Aust Speicher °C	Temperatur Warmw.Aust Mischer °C	Temperatur Wärme.Aust Mischer °C	Temperatur Fortl.Attika v.Geb.-Austr °C	Temperatur Fortl.Erdge. v.Geb.-Austr °C	Temperatur Aussenluft n.Erdregister °C
Mittelwert	2.40	86.10	38.90	35.97	16.74	61.27	53.87	12.6	12.5	12.5	8.7	8.7
Standardabweichung	5.72	16.27	12.78	10.64	4.77	5.75	5.29	2.2	2.1	2.1	3.4	3.4
Maximalwert	18.60	99.80	60.00	54.00	28.50	73.50	66.80	17.6	16.7	16.7	16.7	16.7
Minimalwert	-14.10	20.40	18.60	18.40	6.60	27.00	23.80	8.1	8.7	8.7	2.2	2.2
	Raumtemp. Wohnzimm. OG rechts °C	Feuchte Wohnzimm. OG rechts % F	Raumtemp. Wohnzimm. OG links °C	Feuchte Wohnzimm. links % F	Raumtemp. 1. OG Wohnzimm. rechts °C	Feuchte 1. OG Wohnzimm. rechts % F	Raumtemp. Wohnzimm. 2. OG °C	Feuchte Wohnzimm. 2. OG % F	Raumtemp. Wohnzimm. OG links °C	Feuchte Wohnzimm. OG links % F	Raumtemp. Wohnzimm. Attika °C	Feuchte Wohnzimm. Attika % F
Mittelwert	24.8	31.0	24.2	35.7	22.6	28.3	23.3	34.6	22.3	22.3	27.3	27.3
Standardabweichung	0.4	8.9	0.9	8.6	0.9	9.1	0.9	5.5	2.7	2.7	8.7	8.7
Maximalwert	26.0	51.3	26.7	51.7	25.2	48.5	25.9	53.0	30.4	30.4	47.6	47.6
Minimalwert	23.3	13.5	21.6	16.7	20.2	9.5	20.6	19.4	16.8	16.8	10.7	10.7
	Raumtemp. Treppenhaus unten °C	Feuchte Treppenhaus unten % F	Raumtemp. Treppenhaus mitte °C	Feuchte Treppenhaus mitte % F	Raumtemp. Treppenhaus oben °C	Feuchte Treppenhaus oben % F	Raumtemp. Gemeinsch. Raum °C	Feuchte Gemeinsch. Raum % F				
Mittelwert	15.92	49.43	21.5	35.4	21.0	35.8	21.8	25.3				
Standardabweichung	2.01	9.23	0.9	10.9	1.2	11.1	3.2	8.7				
Maximalwert	19.61	64.70	23.3	52.5	23.4	51.5	33.3	44.3				
Minimalwert	12.55	28.56	19.1	12.3	18.0	11.2	10.6	5.5				
	Betriebszeit Thermostat V	Betriebszeit K1 Erdgeschoss V	Betriebszeit K2 1. OG links V	Betriebszeit K3 1. OG rechts V	Betriebszeit K4 2. OG links V	Betriebszeit K5 2. OG rechts V	Betriebszeit K6 Attika V	Betriebszeit K7 -0.10	Strömung Abluft 2.OG rechts m/s	Strömung Abluft 2.OG links m/s	Strömung Abluft Attika m/s	
Mittelwert	23.35	0.65	22.75	13.68	10.42	4.01	15.07	-0.12	3.3	1.8	3.8	
Standardabweichung	3.84	0.16	5.27	11.48	11.66	8.63	11.58	-0.12	0.9	1.2	0.6	
Maximalwert	24.06	1.13	24.06	24.06	24.06	24.06	24.06	-0.12	4.4	4.0	4.5	
Minimalwert	-0.02	-0.05	-0.03	-0.05	-0.05	-0.12	-0.10	-0.12	0.7	0.5	0.6	

Tabelle 7: Zusammenstellung charakteristischer Zahlenwerte von Oktober 2002 bis März 2003.

Die Mittelwerte für die Raumlufttemperaturen lagen in der Periode Oktober 2002 bis März 2003 zwischen 21.8 °C (Gemeinschaftsraum) und 24.8 °C (1.Obergeschoss rechts). Angekippte oder offen stehende Fenster führten dazu, dass im Gemeinschaftsraum und in der Attika die minimalen Raumlufttemperaturen auf Werte um 10.6 °C resp. 16.8 °C sanken. Die maximalen Temperaturen erreichten Werte um 24.8 °C (1.Obergeschoss rechts).

Die Mittelwerte für die Raumluftfeuchte lagen durchwegs unter 36 %. Sie erreichten Tiefstwerte nahe beim unteren Messbereich der Sensoren(5 % r.F.).

Die mittlere Warmwasseraustrittstemperatur nach dem Mischer liegt bei rund 54°C. Der eingestellte Wert am Mischer von 55 °C wird somit beinahe erreicht.

Die mittlere Aussenlufttemperatur der Periode lag bei 2.4 °C, dies bei Tiefst- und Höchstwerten um -14.1 °C resp. 18.8 °C.

April 2003 bis Juli 2003

	Temperatur Aussenluft °C	Feuchte Aussenluft % F	Temperatur Vorlauf Heizung °C	Temperatur Rücklauf Heizung °C	Temperatur Kaltw. Eintr. Speicher °C	Temperatur Warmw.Aust Speicher °C	Temperatur Warmw.Aust Mischer °C	Temperatur Fortl.Attika v.Geb.-Austr °C	Temperatur Fortl.Erdge. v.Geb.-Austr °C	Temperatur n.Erdregister °C	
Mittelwert	14.40	73.19	26.17	26.23	20.90	66.77	57.76	17.4	16.6	11.3	
Standardabweichung	7.58	20.85	7.74	6.49	4.94	8.59	7.10	4.4	3.7	2.6	
Maximalwert	32.60	100.30	53.20	48.70	33.70	84.80	69.40	26.2	22.5	15.1	
Minimalwert	-7.80	16.20	18.90	18.90	9.50	46.00	40.00	11.0	11.4	5.3	
	Raumtemp. Wohnzimm. OG rechts °C	Feuchte Wohnzimm. OG rechts % F	Raumtemp. Wohnzimm. OG links °C	Feuchte Wohnzimm. OG links % F	Raumtemp. Wohnzimm. OG rechts °C	Feuchte Wohnzimm. OG rechts % F	Raumtemp. Wohnzimm. OG links °C	Feuchte Wohnzimm. OG links % F	Raumtemp. Wohnzimm. Attika °C	Feuchte Wohnzimm. Attika % F	
Mittelwert	25.2	42.6	25.4	48.7	23.3	41.7	24.5	41.6	25.3	37.5	
Standardabweichung	1.3	9.2	1.5	5.3	1.5	10.7	1.4	8.3	1.7	10.0	
Maximalwert	28.1	56.9	28.1	58.3	26.1	55.5	27.8	56.1	30.1	55.3	
Minimalwert	22.4	17.8	23.2	33.3	19.8	11.2	20.8	17.4	20.8	10.2	
	Raumtemp. Treppenhaus unten °C	Feuchte Treppenhaus unten % F	Raumtemp. Treppenhaus mitte °C	Feuchte Treppenhaus mitte % F	Raumtemp. Treppenhaus oben °C	Feuchte Treppenhaus oben % F	Raumtemp. Gemeinsch. Raum °C	Feuchte Gemeinsch. Raum % F			
Mittelwert	19.11	58.43	23.6	44.5	23.9	42.9	23.1	43.2			
Standardabweichung	2.46	9.13	1.7	9.2	2.0	8.7	3.1	12.7			
Maximalwert	23.04	71.57	26.4	55.0	27.2	53.0	34.5	60.0			
Minimalwert	14.71	29.66	21.0	15.2	20.3	13.8	7.8	20.4			
	Betriebszeit Thermostat V	Betriebszeit K1 Erdgeschoss V	Betriebszeit K2 Erdgeschoss V	Betriebszeit K3 1. OG links V	Betriebszeit K4 1. OG rechts V	Betriebszeit K5 2. OG links V	Betriebszeit K6 2. OG rechts V	Betriebszeit K7 Attika V	Strömung Abluft 2.OG rechts m/s	Strömung Abluft 2.OG links m/s	Strömung Abluft Attika m/s
Mittelwert	9.00	4.29	8.70	0.22	4.97	0.11	4.20	3.6	2.2	2.3	
Standardabweichung	11.42	8.87	11.39	0.32	9.58	0.19	9.02	0.6	0.5	1.4	
Maximalwert	24.07	24.07	24.07	1.17	24.07	0.86	24.07	4.9	3.2	4.2	
Minimalwert	-0.03	-0.07	-0.05	-0.07	-0.07	-0.06	-0.09	0.9	0.6	0.7	

Tabelle 8: Zusammenstellung charakteristischer Zahlenwerte von April 2003 bis Juli 2003.

Die Mittelwerte für die Raumlufttemperaturen lagen in der Periode April 2003 bis Juli 2003 zwischen 23.1 °C (Gemeinschaftsraum) und 25.4 °C (1.Obergeschoss links). Angekippte oder offenstehende Fenster führten erneut dazu, dass im Gemeinschaftsraum und in der Attika die minimalen Raumlufttemperaturen auf Werte um 7.8 °C resp. 10.2 °C sanken. Die maximalen Temperaturen erreichten Werte um 30.1 °C (Attika).

Die Mittelwerte für die Raumluftfeuchte lagen durchwegs über 37.5 %. Sie erreichten erneut Tiefstwerte nahe beim unteren Messbereich der Sensoren(5 % r.F.).

Die mittlere Warmwasseraustrittstemperatur nach dem Mischer liegt bei rund 58°C. Der eingestellte Wert am Mischer von 55 °C wird somit überschritten und kann nicht mehr gesenkt werden. Dies deutet auf einen höheren Ladezustand des Speichers hin (Einfluss Solaranlage und niedriger Bedarf nutzerseitig)

Die mittlere Aussenlufttemperatur der Periode lag bei 14.4 °C, dies bei Tiefst- und Höchstwerten um -7.8 °C resp. 32.6 °C.

3.10 Analyse verschiedener Anlagekomponenten

3.10.1 Luft - Erdregister

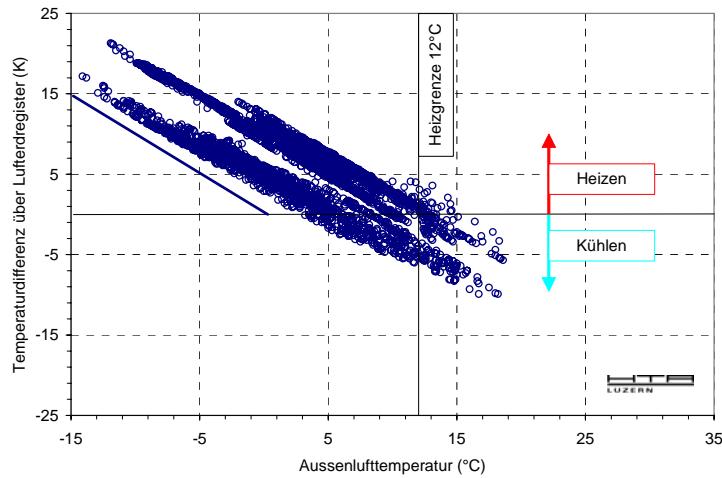


Abbildung 66: Temperaturdifferenz über das Luft-Erdregister in Funktion der Aussenlufttemperatur von Oktober 2002 bis März 2003.

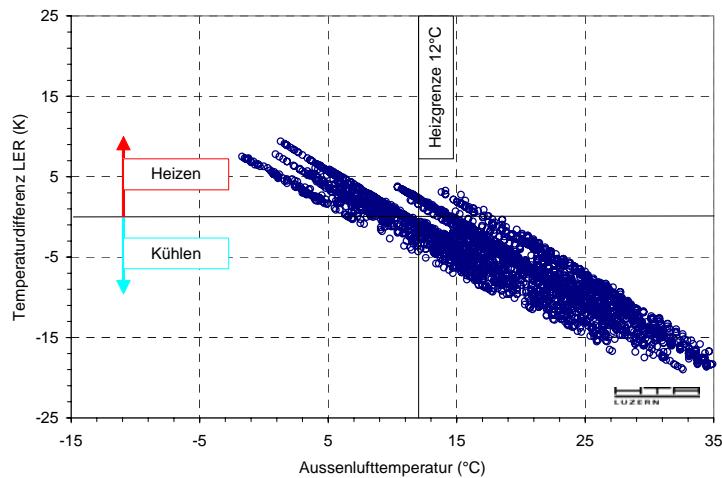


Abbildung 67: Temperaturdifferenz über das Luft-Erdregister in Funktion der Aussenlufttemperatur von April 2003 bis August 2003.

Das Lufteredregister (LER) sorgt dafür, dass auch bei tiefen Aussenlufttemperaturen von -14°C die Austrittstemperatur aus dem LER bei ungefähr 3°C liegt. Dieser Umstand spricht für eine grosszügige Dimensionierung des Lufteredregisters.

3.10.2 Wärmerückgewinnung mittels Wohnungslüftungsgeräten

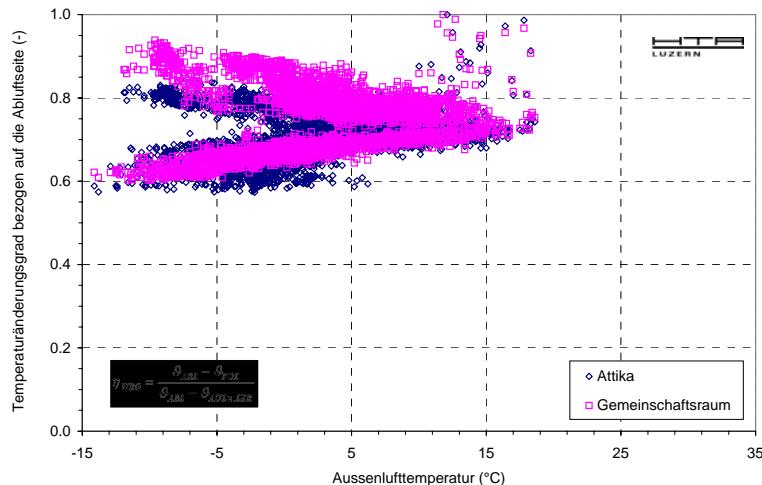


Abbildung 68: Temperaturänderungsgrad WRG des Wohnungslüftungsgerätes von Oktober 2002 bis März 2003.

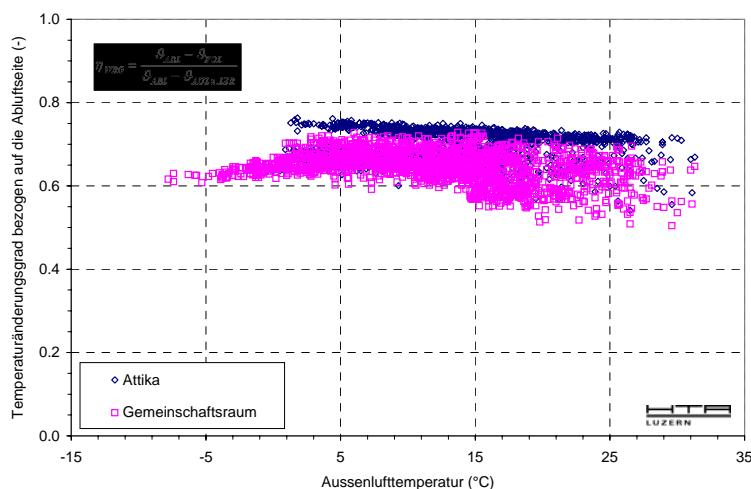


Abbildung 69: Temperaturänderungsgrad WRG des Wohnungslüftungsgerätes von April 2003 bis August 2003.

3.10.3 Energieverbrauch der Wohnungslüftungsgeräte

Gemäss einem Bulletin des Europäischen Testzentrums für Wohnungslüftungsgeräte [3] beträgt die Leistungsaufnahme für das eingebaute Wohnungslüftungsgerät Paul WRG-90-multi 67 W bei einem Volumenstrom von 125 m³/h. Vor Ort wurde am 16-07-2003 eine deutlich höhere Leistungsaufnahme von 130 W bei einem Volumenstrom von 160 m³/h gemessen. Dies bedeutet, dass für die Lüftung ein deutlich höherer Verbrauch zu veranschlagen ist.

3.10.4 Luftheizung und spezifische Heizlast

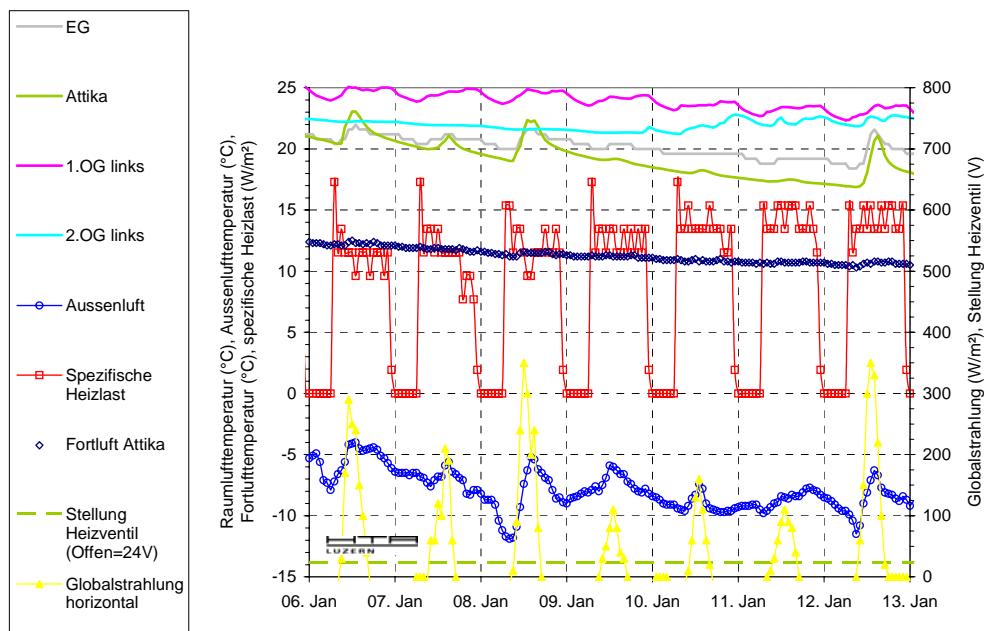


Abbildung 70: Charakteristik des Passivhauses Unterägeri bei kalten Aussenluftbedingungen.

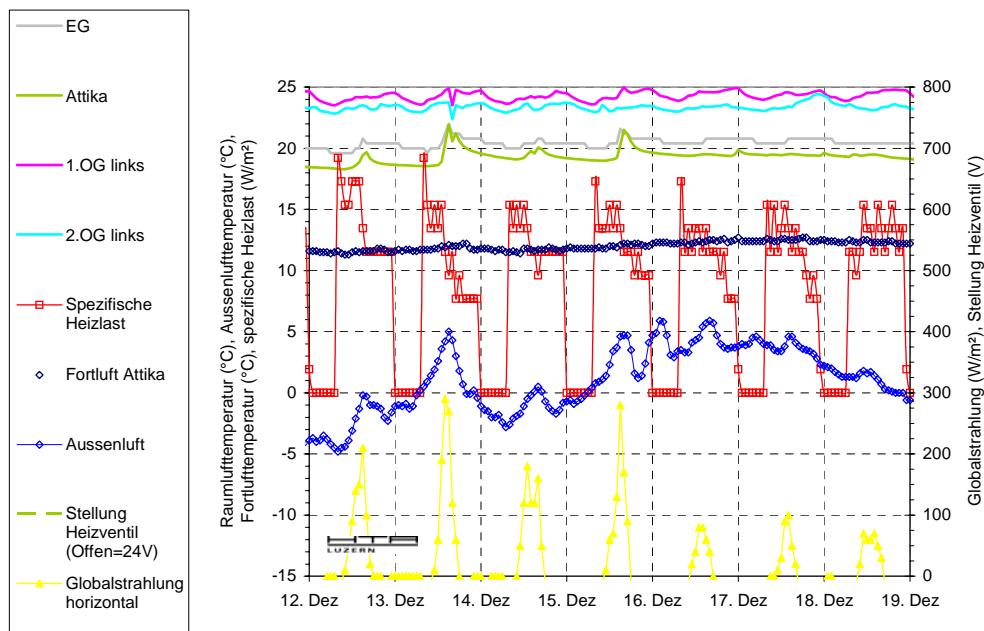


Abbildung 71: Charakteristik des Passivhauses Unterägeri bei moderaten Aussenluftbedingungen.

3.10.5 Warmwassererzeugung

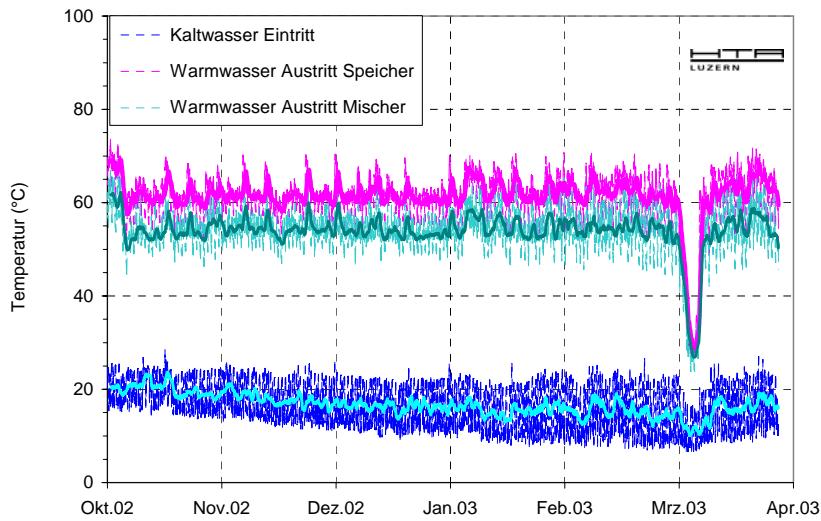


Abbildung 72: Temperaturverläufe der Warmwassererzeugung von Oktober 2002 bis März 2003.

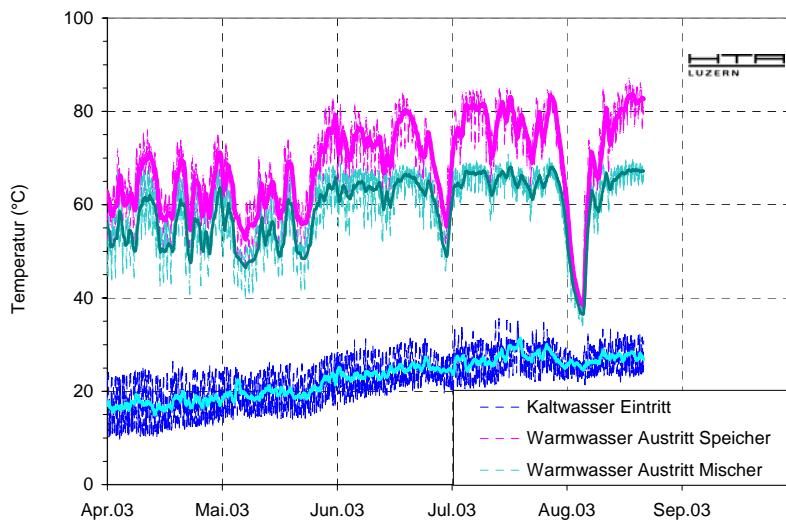


Abbildung 73: Temperaturverläufe der Warmwassererzeugung von April 2003 bis August 2003.

Infolge einer grösseren Trockenperiode steigt die Temperatur des bezogenen Frischwassers kontinuierlich an. Deutlich erkennbar sind zwei grössere Unterbrüche in der Warmwassererzeugung: In der Periode April bis August 2003 wurde dies durch den Ausfall der Solaranlage verursacht. Die Ursache für den Ausfall in der Heizperiode ist nicht bekannt.

3.10.6 Blockheizkraftwerk

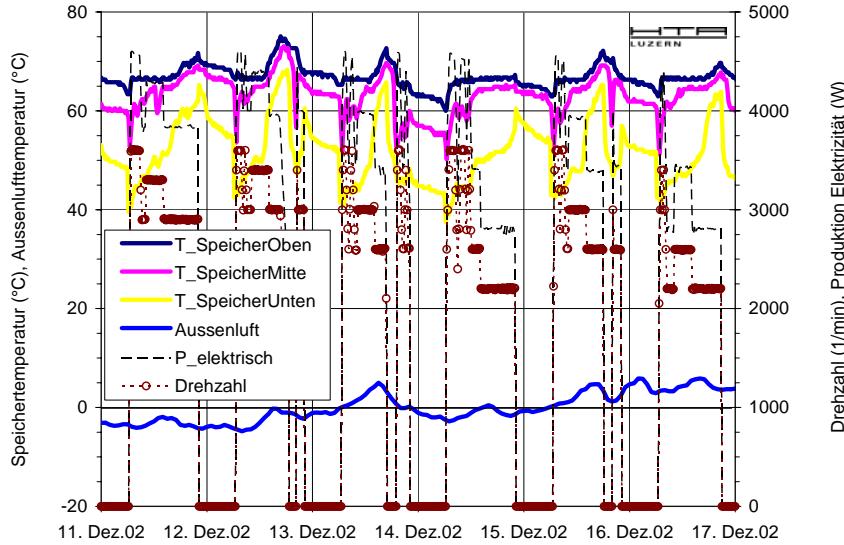


Abbildung 74: BHKW- und Speicher- Charakteristik bei moderater Aussenlufttemperatur ($v_m = -0.3^\circ C$).

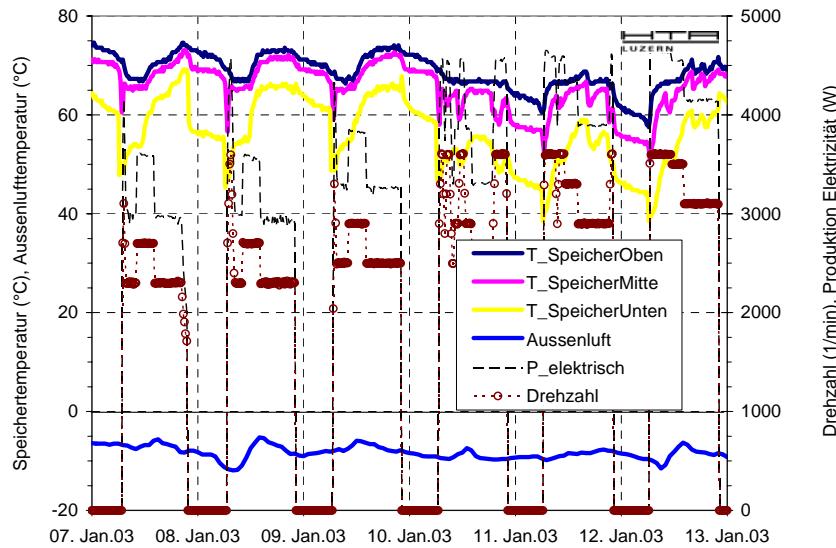


Abbildung 75: BHKW- und Speicher- Charakteristik bei tiefer Aussenlufttemperatur ($v_m = -7.9^\circ C$)

Vom 1. Juli 2002 bis 30.Juni 2003 wurde eine BHKW Laufzeit von 2584 Stunden mit 490 Startimpulsen erfasst. Dies ergibt eine durchschnittliche Laufzeit von 5.3 Stunden pro Startimpuls.

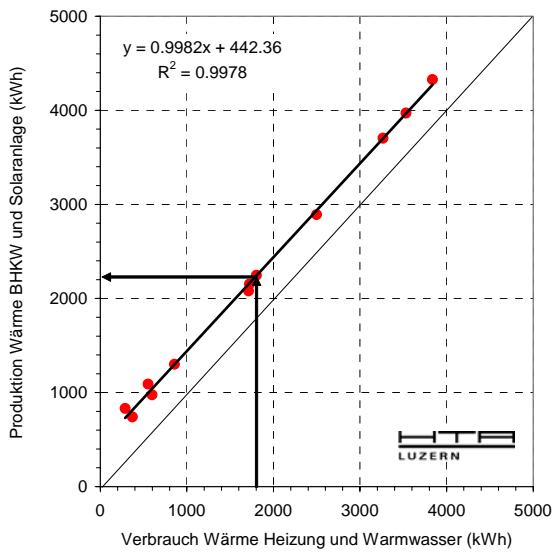


Abbildung 76: Wärme - Verbrauch und - Produktion von Oktober 2002 bis März 2003.

3.11 Energiebilanz

3.11.1 Spezifische Heizlast

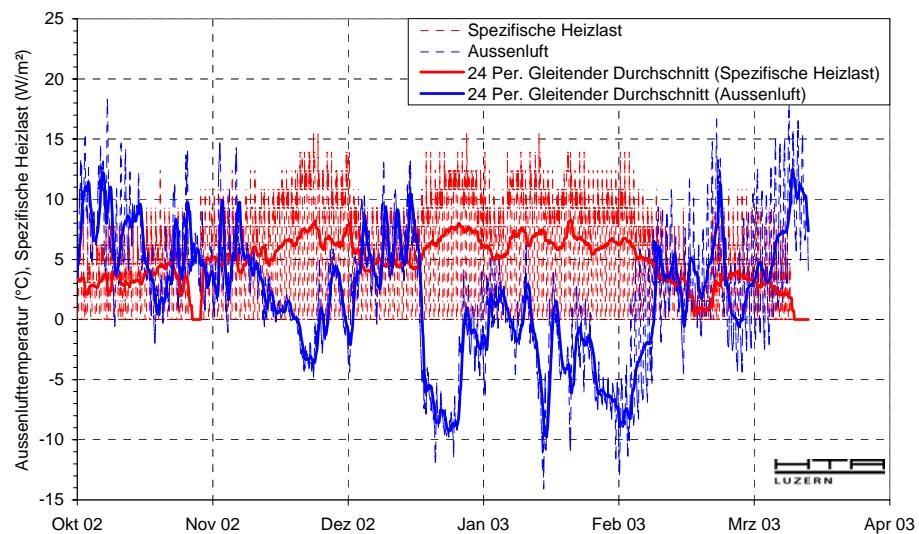


Abbildung 77: Die spezifische Heizlast von Oktober 2002 bis März 2003.

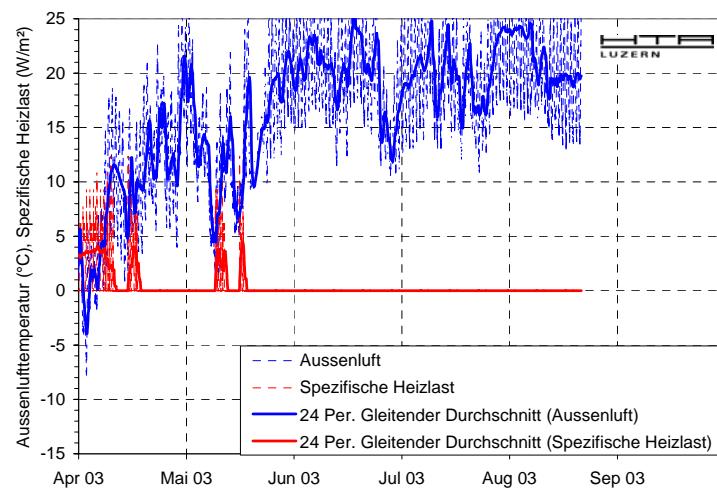


Abbildung 78: Die spezifische Heizlast von April 2003 bis August 2003.

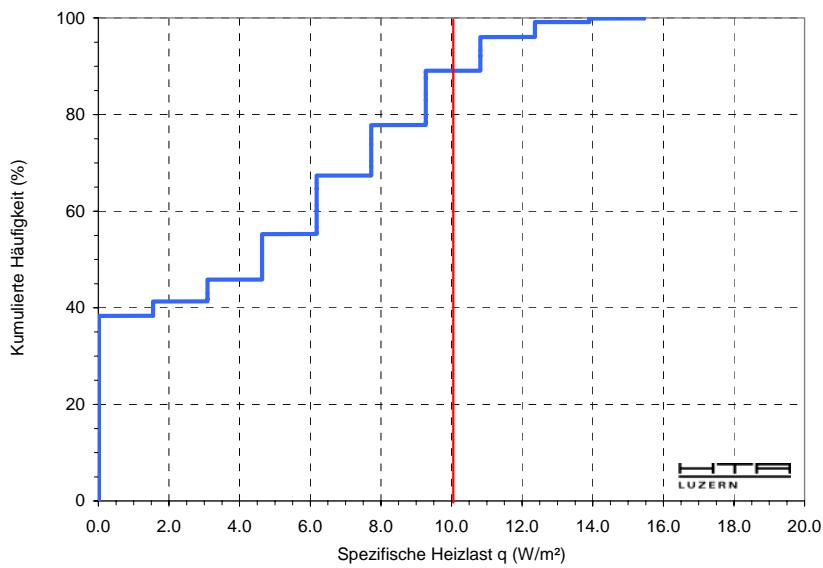


Abbildung 79: Kumulierte Häufigkeit der spezifischen Heizlast von Oktober 2002 bis März 2003.

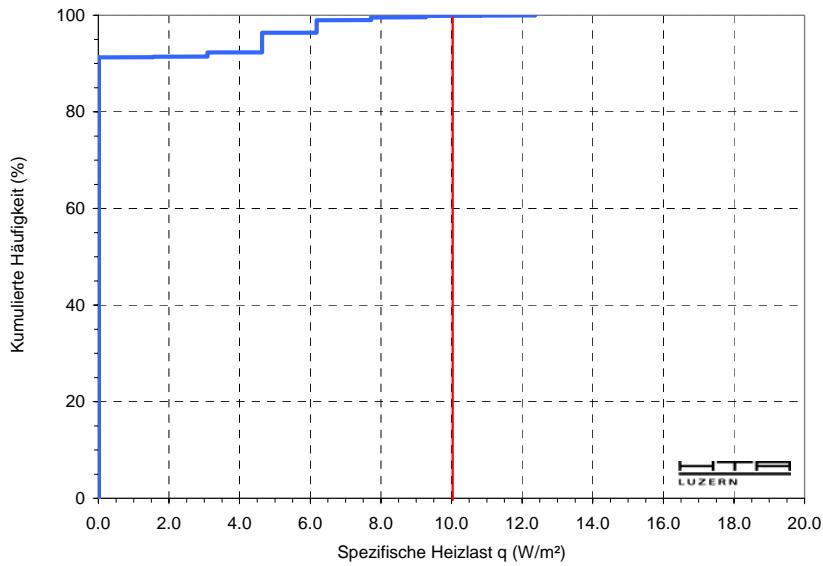


Abbildung 80: Kumulierte Häufigkeit der spezifischen Heizlast von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.

3.11.2 Heizkennlinie

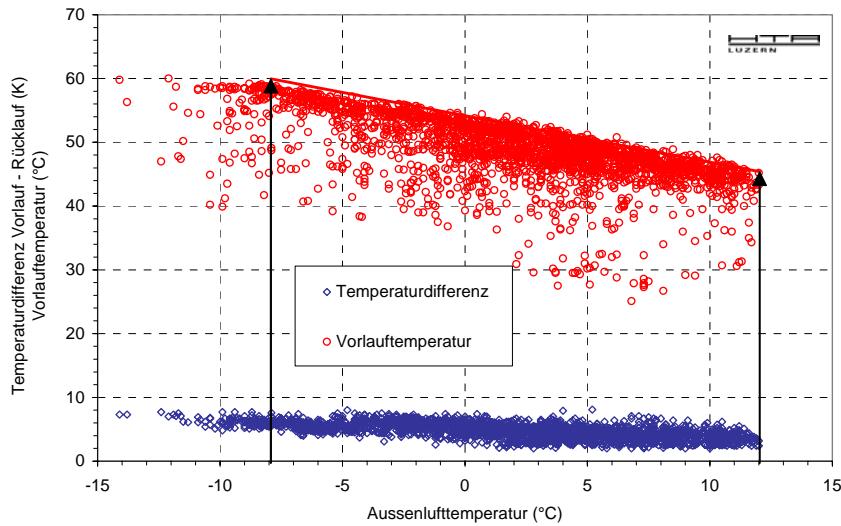


Abbildung 81: Verhalten der Heizgruppe in Funktion der Aussenlufttemperatur (Heizgrenze +12°C, Auslegungstemperatur -8 °C, Vor- und Rücklauftemperatur 60/50 °C).

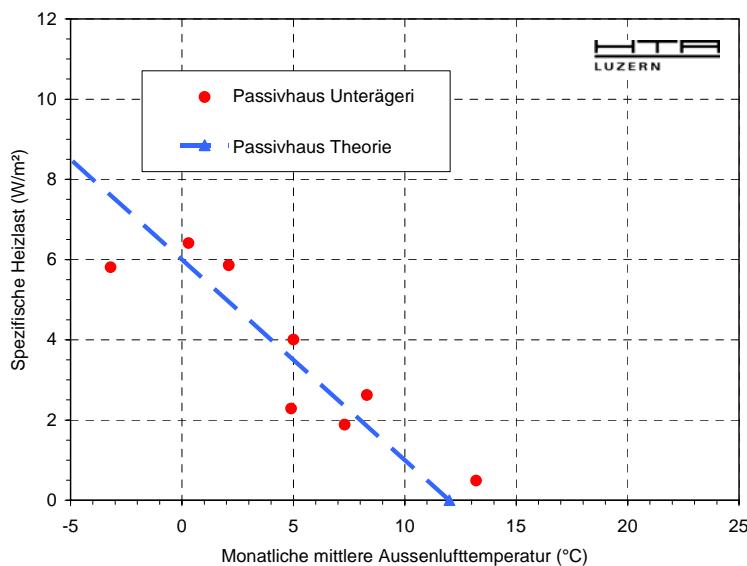


Abbildung 82: Die spezifische Heizleistung in Funktion der mittleren monatlichen Aussenlufttemperatur.

3.11.3 Monatliche Produktions- und Verbrauchsdaten

Messdатерфassung Monat	Elektrizität Verbrauch Allgemein (kWh)	Elektrizität Verbrauch Haushalt (kWh)	Verhältnis Allgemein zu Haushalt (-)
Juli	330	772	0.43
August	329	764	0.43
September	279	1037	0.27
Oktober	240	1262	0.19
November	165	1565	0.11
Dezember	121	1824	0.07
Januar	157	1830	0.09
Februar	150	1452	0.10
März	293	1343	0.22
April	288	1432	0.20
Mai	266	1214	0.22
Juni	289	1065	0.27
Jahressumme	2906	15561	0.22
			Mittelwert

Abbildung 83: Elektrizitätsverbrauch Allgemein und Haushalt von Juli 2002 bis Juni 2003.

Der Elektrizitätsverbrauch Allgemein ist im Jahresverlauf grösseren Schwankungen unterworfen. Die Ursache hierfür ist nicht bekannt.

Messdатерфassung Monat	Verbrauch Elektrizität Haushalt und Allgemein (kWh)	Produktion Elektrizität BHKW (kWh)	Verhältnis Produktion zu Verbrauch (-)
Juli	1102	0	0.00
August	1092	22	0.02
September	1317	76	0.06
Oktober	1501	405	0.27
November	1674	623	0.37
Dezember	1945	1164	0.60
Januar	1923	1225	0.64
Februar	1551	980	0.63
März	1754	403	0.23
April	1665	336	0.20
Mai	1480	145	0.10
Juni	1316	26	0.02
Jahressumme	18319	5405	0.26
			Mittelwert

Abbildung 84: Verbrauch und Produktion von Elektrizität von Juli 2002 bis Juni 2003.

Im Jahresschnitt werden 26 % des Stromverbrauches durch die eigene Produktion gedeckt.

Messdатерфассung	Produktion Wärme Solaranlage pro Monat (kWh)	Produktion Wärme BHKW pro Monat (kWh)	Verbrauch Wärme Heizung pro Monат (kWh)	Verbrauch Wärme Warmwasser pro Monat (kWh)
Monat				
Juli	783	49	0	287
August	660	80	0	372
September	560	415	212	386
Oktober	500	1579	1264	448
November	180	2712	1867	632
Dezember	70	3901	2821	711
Januar	190	4138	3087	750
Februar	330	3374	2527	738
März	1010	1237	1100	705
April	870	1283	878	846
Mai	750	551	236	622
Juni	1090	0	0	552
Jahressumme	6993	19319	13992	7049

Abbildung 85: Produktion und Verbrauch von Wärme von Juli 2002 bis Juni 2003.

Messdатерфассung	Verbrauch Wärme Warmwasser und Heizung pro Monat (kWh)	Produktion Wärme BHKW und Solaranlage pro Monat (kWh)	Wärmeverluste Speicher pro Monat (kWh)
Monat			
Juli	287	832	545
August	372	740	368
September	598	975	377
Oktober	1712	2079	367
November	2499	2892	393
Dezember	3532	3971	439
Januar	3837	4328	491
Februar	3265	3704	439
März	1805	2247	442
April	1724	2153	429
Mai	858	1301	443
Juni	552	1090	538
Jahressumme	21041	26312	5271

Abbildung 86: Energiebilanz Speicher von Juli 2002 bis Juli 2003.

3.11.4 Energieflussdiagramm

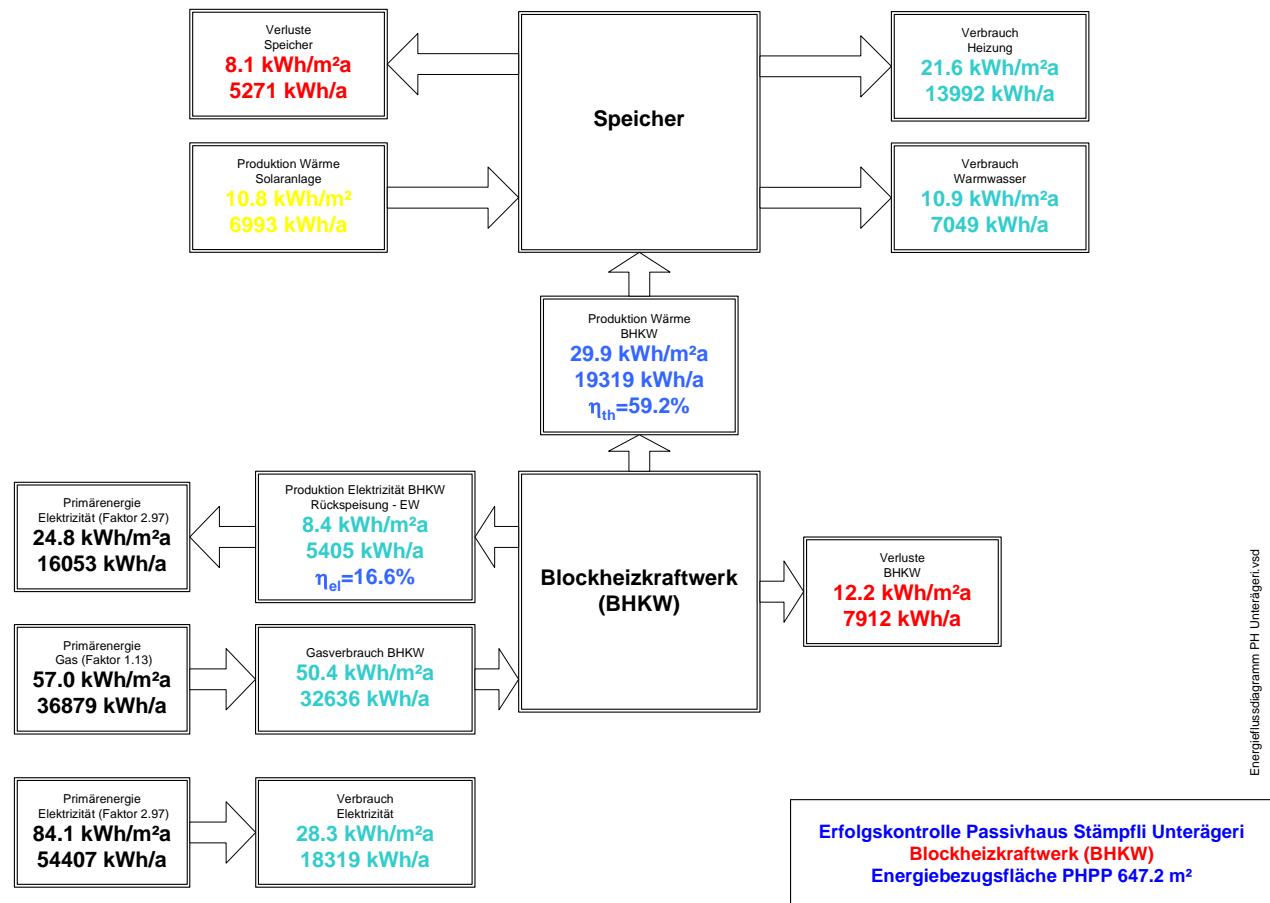


Abbildung 87: Energiebilanz von Juli 2002 bis Juni 2003.

3.11.5 Nutz- und Primärenergie

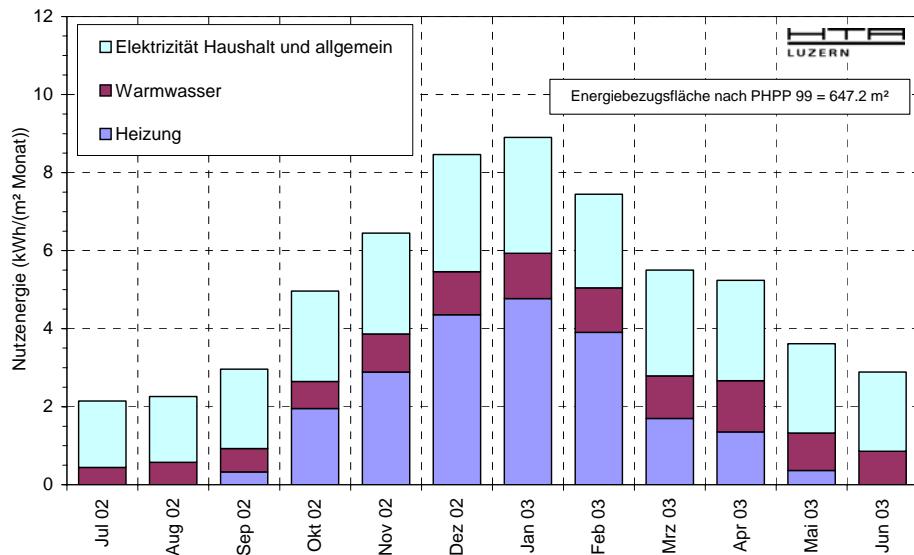


Abbildung 88: Nutzenergieverbrauch von Juli 2002 bis Juni 2003.

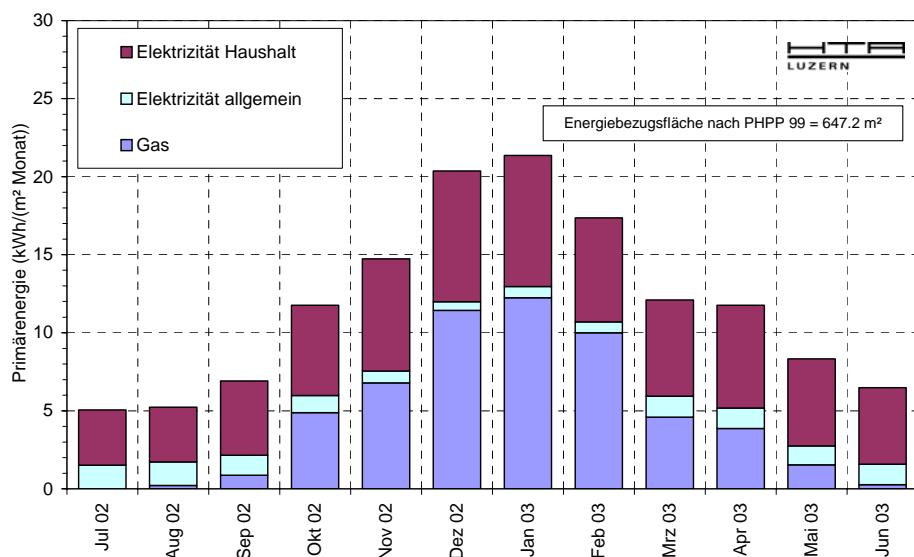


Abbildung 89: Primärenergieverbrauch von Juli 2002 bis Juni 2003.

Zusammenstellung

Energiebezugsfläche PHPP	(m ²)	647.2
Energiebezugsfläche SIA	(m ²)	696.2

Nutzenergie

Monat	Heizung	Warmwasser	Elektrizität Haushalt und allgemein	Heizung	Warmwasser	Elektrizität Haushalt und allgemein
	EBF PHPP (kWh/m ²)	EBF PHPP (kWh/m ²)	EBF PHPP (kWh/m ²)	EBF SIA (kWh/m ²)	EBF SIA (kWh/m ²)	EBF SIA (kWh/m ²)
Juli 2002	0.00	0.44	1.70	0.00	0.41	1.58
August 2002	0.00	0.57	1.69	0.00	0.53	1.57
September 2002	0.33	0.60	2.03	0.30	0.55	1.89
Oktober 2002	1.95	0.69	2.32	1.82	0.64	2.16
November 2002	2.88	0.98	2.59	2.68	0.91	2.40
Dezember 2002	4.36	1.10	3.00	4.05	1.02	2.79
Januar 2003	4.77	1.16	2.97	4.43	1.08	2.76
Februar 2003	3.90	1.14	2.40	3.63	1.06	2.23
März 2003	1.70	1.09	2.71	1.58	1.01	2.52
April 2003	1.36	1.31	2.57	1.26	1.22	2.39
Mai 2003	0.36	0.96	2.29	0.34	0.89	2.13
Juni 2003	0.00	0.85	2.03	0.00	0.79	1.89

Bezugsfläche: EBF PHPP

Summe (kWh/m ²)	21.6	10.9	28.3
Energiebedarf (kWh/m ²)		60.8	

Bezugsfläche: EBF SIA

20.1	10.1	26.3
	56.5	

Primärenergie

Elektrizität Faktor 2.97 Flüssiggas Faktor 1.13

Monat	Gas	Elektrizität Haushalt	Elektrizität allgemein	Gas	Elektrizität Haushalt	Elektrizität allgemein
	EBF PHPP (kWh/m ²)	EBF PHPP (kWh/m ²)	EBF PHPP (kWh/m ²)	EBF SIA (kWh/m ²)	EBF SIA (kWh/m ²)	EBF SIA (kWh/m ²)
Juli 2002	0.00	3.54	1.51	0.00	3.29	1.41
August 2002	0.22	3.50	1.51	0.20	3.26	1.40
September 2002	0.87	4.76	1.28	0.81	4.43	1.19
Oktober 2002	4.88	5.79	1.10	4.53	5.38	1.02
November 2002	6.79	7.18	0.76	6.31	6.68	0.70
Dezember 2002	11.44	8.37	0.55	10.64	7.78	0.52
Januar 2003	12.24	8.40	0.72	11.38	7.81	0.67
Februar 2003	10.01	6.66	0.69	9.30	6.20	0.64
März 2003	4.59	6.16	1.35	4.27	5.73	1.25
April 2003	3.86	6.57	1.32	3.59	6.11	1.23
Mai 2003	1.54	5.57	1.22	1.43	5.18	1.13
Juni 2003	0.26	4.89	1.33	0.25	4.54	1.23

Bezugsfläche: EBF PHPP

Summe (kWh/m ²)	56.7	71.4	13.3
Energiebedarf (kWh/m ²)		141.4	

Bezugsfläche: EBF SIA

52.7	66.4	12.4
	131.5	

Abbildung 90: Zusammenstellung des Nutz- und Primärenergieverbrauchs von Juli 2003 bis Juni 2003.

4 Passivhaus – Kennwerte

4.1 Primärenergie

Der vom Passivhaus - Institut in Darmstadt definierte Grenzwert für Primärenergie von 120 kWh/m²a wird mit 116 kWh/m²a um 7 % unterschritten. Allerdings konnte der Kennwert nur unter Berücksichtigung der Stromproduktion durch das BHKW eingehalten werden. Ansonsten hätte ein Wert von 141 kWh/m²a resultiert.

4.2 Nutzenergie Heizung

Der Passivhaus – Kennwert für die Nutzenergie Heizung von 15 kWh/m²a wird mit 21.6 kWh/m²a recht deutlich überschritten. Abzuklären sind die Einflüsse von allfällig vorhandenen Wärmebrücken im Erdgeschoss (eingeschobene Garagen) und im allseitig zurückversetzten Dachgeschoss. Zudem sollte der Luftdichtheitstest durchgeführt werden. Die fehlenden internen Lasten infolge niedriger Belegung und tiefer Präsenz tragen ebenfalls zur Überschreitung bei.

4.3 Nutzenergie Elektrizität

Der Passivhaus Nutzenergie – Kennwert Elektrizität von 18 kWh/m²a wird mit 28.3 kWh/m²a überaus deutlich überschritten. Trotz konsequenterem Einsatz von Haushaltgeräten der Energieeffizienzklasse A oder A+ wurde der Kennwert deutlich verfehlt. Das Benutzerverhalten hat einen grossen Einfluss auf den Elektrizitäts-Verbrauch. Der Einsatz von Heimelektronik trägt zum erhöhten Energieverbrauch einiges bei.

5 Schlussfolgerungen

Unter Berücksichtigung der Stromproduktion des Blockheizkraftwerkes (BHKW) kann der Primärenergie – Kennwert von 125 kWh/m²a eingehalten werden. Hingegen wird der Nutzenergie – Kennwert Heizung von 15 kWh/m²a mit 21.6 kWh/m²a verfehlt (Abweichung 44 %). Den grössten Beitrag zur Nichterreichung des Primärenergie - Kennwerts (ohne Berücksichtigung der Stromproduktion BHKW) leistet jedoch der um 57 % verfehlte Nutzenergie - Kennwert Elektrizität.

Mögliche Ursachen für die Abweichungen sind wie folgt zu erwähnen:

- Die Belegung und das Benutzerverhalten entsprechen nicht den deutschen Grundannahmen, die den Kennwertdefinitionen zu Grunde liegen. Somit fallen weniger interne Gewinne an. Bei der Planung ist man offensichtlich von zu optimistischen Annahmen ausgegangen.
- Das installierte Blockheizkraftwerk (BHKW) und die Solaranlage konkurrieren sich.
- Möglicherweise sind bisher nicht untersuchte Wärmebrücken ein Grund für Wärmeverluste in der allseitig zurückversetzten Attikawohnung und im Gemeinschaftsraum neben den eingeschobenen Garagen.
- Gemäss Aussagen des Bauherrn ist zu vermuten, dass im Untergeschoss teilweise andere Dämmlagen als ursprünglich vorgesehen ausgeführt wurden.

Abschliessend bleibt zu erwähnen, dass der kombinierte Einsatz eines BHKW und einer Solaranlage in einem Passivhaus dieser Grössenordnung von den Autoren als nicht zweckmässig erachtet wird. Ein Vergleich zeigt, dass durch den Einsatz eines kondensierenden Gaskessels ein nur unwesentlich höherer Primärenergieverbrauch resultiert. Die resultierenden Verluste durch tiefere Wirkungsgrade beim Einsatz eines BHKW können unter der Gesamtsicht der Passivhausphilosophie nicht vernachlässigt werden. In erster Linie werden aber die Investitionskosten entscheidend sein.

Zu erwähnen bleibt weiter, dass die Annahmen des Passivhaus – Institutes nicht einfach auf schweizerische Verhältnisse zu übertragen sind. Passivhäuser sprechen in der Schweiz ein anderes Publikum an, als sie dies in Deutschland tun.

6 Verzeichnisse

6.1 Abbildungen

<i>Abbildung 1: Das Passivhaus Unterägeri in der Ostansicht.</i>	4
<i>Abbildung 2: Nordansicht.</i>	5
<i>Abbildung 3: Ostansicht.</i>	5
<i>Abbildung 4: Südsicht.</i>	6
<i>Abbildung 5: Westansicht.</i>	6
<i>Abbildung 6: Schnittansicht durch das Passivhaus Unterägeri.</i>	7
<i>Abbildung 7: Grundriss Untergeschoss.</i>	7
<i>Abbildung 8: Grundriss Erdgeschoss mit fünf eingeschobenen Garagen.</i>	8
<i>Abbildung 9: Grundriss 1. Obergeschoss und 2.Obergeschoss.</i>	8
<i>Abbildung 10: Grundriss Attika.</i>	9
<i>Abbildung 11: Prinzipschema Lüftung Passivhaus Unterägeri (Werkzeichnung Spescha).</i>	10
<i>Abbildung 12: Prinzipschema Heizung Passivhaus Unterägeri (Werkzeichnung Spescha).</i>	11
<i>Abbildung 13: Blockheizkraftwerk und Speicher im Technikraum 1 des Untergeschosses.</i>	11
<i>Abbildung 14: Drei Wohnungslüftungsgeräte mit Austauschkassetten im Schrankenbau des 2. Obergeschosses.</i>	12
<i>Abbildung 15: Datenblatt Passivhaus Unterägeri aus Literatur [2].</i>	13
<i>Abbildung 16: Prinzipschema des Messkonzepts.</i>	14
<i>Abbildung 17: Prinzipschema Heizung des Messkonzepts.</i>	15
<i>Abbildung 18: Prinzipschema Lüftung des Messkonzepts.</i>	15
<i>Abbildung 19: Datenlogger „Technik“ und „BHKW“ der HTA Luzern im Untergeschoss.</i>	16
<i>Abbildung 20: Strömungssensor für die Luftgeschwindigkeit FOL im 2. Obergeschoss.</i>	16
<i>Abbildung 21: Messprotokoll Volumenströme an den Durchlässen..</i>	20
<i>Abbildung 22: Verlauf der Aussenlufttemperatur von Juli 2002 bis Juni 2003.</i>	21
<i>Abbildung 23: Verlauf der Globalstrahlung von Juli 2002 bis Juni 2003.</i>	21
<i>Abbildung 24: Verlauf der Temperaturen in den Wohnungen von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	22
<i>Abbildung 25: Verlauf der Temperaturen in den Wohnungen von April 2003 bis Juli 2003.</i>	22
<i>Abbildung 26: Verlauf der relativen Feuchte in den Wohnungen von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	23
<i>Abbildung 27: Verlauf der relativen Feuchte in den Wohnungen von April 2003 bis August 2003.</i>	23
<i>Abbildung 28: Verlauf der Temperaturen in der Attika und im Erdgeschoss von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	24
<i>Abbildung 29: Verlauf der Temperaturen in der Attika und im Erdgeschoss von April 2003 bis August 2003.</i>	24
<i>Abbildung 30: Verlauf der Temperaturen im Treppenhaus von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	25
<i>Abbildung 31: Verlauf der Temperaturen im Treppenhaus von April 2003 bis August 2003.</i>	25
<i>Abbildung 32: Verlauf der relativen Feuchte im Treppenhaus von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	26
<i>Abbildung 33: Verlauf der relativen Feuchte im Treppenhaus von April 2003 bis August 2003.</i>	26
<i>Abbildung 34: Verlauf der Temperaturen im Lufterrégister und Fortluft WRG von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	27
<i>Abbildung 35: Verlauf der Temperaturen im Lufterrégister und Fortluft WRG von April 2003 bis August 2003.</i>	27
<i>Abbildung 36: Temperaturänderungsgrad der Wärmerückgewinnung bezogen auf die Abluftseite von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	28

<i>Abbildung 37: Temperaturänderungsgrad der Wärmerückgewinnung bezogen auf die Abluftseite von April 2003 bis August 2003.</i>	28
<i>Abbildung 38: Raumlufttemperaturen in Korrelation zur Aussenlufttemperatur von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	29
<i>Abbildung 39: Raumlufttemperaturen in Korrelation zur Aussenlufttemperatur von April 2003 bis August 2003.</i>	29
<i>Abbildung 40: Relative Raumluftfeuchten in Korrelation mit der Aussenlufttemperatur vom Oktober 2002 bis März 2003.</i>	30
<i>Abbildung 41: Relative Raumluftfeuchten in Korrelation mit der Aussenlufttemperatur vom April 2003 bis Juli 2003.</i>	30
<i>Abbildung 42: Verlauf der Feuchtedifferenz in Korrelation zur Aussenlufttemperatur von Oktober 2002 bis März 2003</i>	31
<i>Abbildung 43: Verlauf der Feuchtedifferenz in Korrelation zur Aussenlufttemperatur von April 2003 bis Juli 2003</i>	31
<i>Abbildung 44: Kumulierte Häufigkeit der Raumlufttemperaturen von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	32
<i>Abbildung 45: Kumulierte Häufigkeit der Raumlufttemperaturen von Juli bis September 2002 und von April bis Juni 2003.</i>	33
<i>Abbildung 46: Kumulierte Häufigkeit der relativen Feuchte von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	34
<i>Abbildung 47: Kumulierte Häufigkeit der relativen Feuchte von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.</i>	35
<i>Abbildung 48: Kumulierte Häufigkeit der Feuchtedifferenzen von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	36
<i>Abbildung 49: Kumulierte Häufigkeit der Feuchtedifferenzen von April 2003 bis August 2003.</i>	36
<i>Abbildung 50: Kumulierte Häufigkeit der Temperatur und der relativen Feuchte im Treppenhaus von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	37
<i>Abbildung 51: Kumulierte Häufigkeit der Temperatur und der relativen Feuchte im Treppenhaus von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.</i>	37
<i>Abbildung 52: Kumulierte Häufigkeit der Vor- und Rücklauftemperatur von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	38
<i>Abbildung 53: Kumulierte Häufigkeit der Vor- und Rücklauftemperatur von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.</i>	38
<i>Abbildung 54: Kumulierte Häufigkeit der Wohnungslüftungsgeräte-Betriebszustände von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	39
<i>Abbildung 55: Kumulierte Häufigkeit der Wohnungslüftungsgeräte-Betriebszustände von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.</i>	39
<i>Abbildung 56: Kumulierte Häufigkeit der Luftheritzer-Betriebszustände von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	40
<i>Abbildung 57: Kumulierte Häufigkeit der Luftheritzer-Betriebszustände von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.</i>	40
<i>Abbildung 58: Kumulierte Häufigkeit der Fortluft- und Aussenlufttemperatur (nach LER) von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	41
<i>Abbildung 59: Kumulierte Häufigkeit der Fortluft- und Aussenlufttemperatur (nach LER) von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.</i>	41
<i>Abbildung 60: Kumulierte Häufigkeit der spezifischen Heizlast von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	42
<i>Abbildung 61: Kumulierte Häufigkeit der spezifischen Heizlast von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.</i>	42
<i>Abbildung 62: Temperaturverlauf in der Übergangszeit.</i>	43
<i>Abbildung 63: Temperaturverlauf in der wärmsten Sommerwoche 2003.</i>	43
<i>Abbildung 64: Temperaturverlauf in einer kalten Winterwoche 2003.</i>	44
<i>Abbildung 65: Temperaturverlauf in einer moderaten Winterwoche 2002.</i>	44
<i>Abbildung 66: Temperaturdifferenz über das Luft-Erdregister in Funktion der Aussenlufttemperatur von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	47
<i>Abbildung 67: Temperaturdifferenz über das Luft-Erdregister in Funktion der Aussenlufttemperatur von April 2003 bis August 2003.</i>	47
<i>Abbildung 68: Temperaturänderungsgrad WRG des Wohnungslüftungsgerätes von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	48
<i>Abbildung 69: Temperaturänderungsgrad WRG des Wohnungslüftungsgerätes von April 2003 bis August 2003.</i>	48
<i>Abbildung 70: Charakteristik des Passivhauses Unterägeri bei kalten Aussenluftbedingungen.</i>	49
<i>Abbildung 71: Charakteristik des Passivhauses Unterägeri bei moderaten Aussenluftbedingungen.</i>	49

<i>Abbildung 72: Temperaturverläufe der Warmwassererzeugung von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	50
<i>Abbildung 73: Temperaturverläufe der Warmwassererzeugung von April 2003 bis August 2003.</i>	50
<i>Abbildung 74: BHKW- und Speicher- Charakteristik bei moderater Aussenlufttemperatur ($v_m=-0.3^{\circ}\text{C}$).</i>	51
<i>Abbildung 75: BHKW- und Speicher- Charakteristik bei tiefer Aussenlufttemperatur ($v_m=-7.9^{\circ}\text{C}$)</i>	51
<i>Abbildung 76: Wärme - Verbrauch und - Produktion von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	52
<i>Abbildung 77: Die spezifische Heizlast von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	53
<i>Abbildung 78: Die spezifische Heizlast von April 2003 bis August 2003.</i>	53
<i>Abbildung 79: Kumulierte Häufigkeit der spezifischen Heizlast von Oktober 2002 bis März 2003.</i>	54
<i>Abbildung 80: Kumulierte Häufigkeit der spezifischen Heizlast von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.</i>	54
<i>Abbildung 81: Verhalten der Heizgruppe in Funktion der Aussenlufttemperatur (Heizgrenze +12°C, Auslegungstemperatur -8 °C, Vor- und Rücklaufstemperatur 60/50 °C).</i>	55
<i>Abbildung 82: Die spezifische Heizleistung in Funktion der mittleren monatlichen Aussenlufttemperatur.</i>	55
<i>Abbildung 83: Elektrizitätsverbrauch Allgemein und Haushalt von Juli 2002 bis Juni 2003.</i>	56
<i>Abbildung 84: Verbrauch und Produktion von Elektrizität von Juli 2002 bis Juni 2003.</i>	56
<i>Abbildung 85: Produktion und Verbrauch von Wärme von Juli 2002 bis Juni 2003.</i>	57
<i>Abbildung 86: Energiebilanz Speicher von Juli 2002 bis Juli 2003.</i>	57
<i>Abbildung 87: Energiebilanz von Juli 2002 bis Juni 2003.</i>	58
<i>Abbildung 88: Nutzenergieverbrauch von Juli 2002 bis Juni 2003.</i>	59
<i>Abbildung 89: Primärenergieverbrauch von Juli 2002 bis Juni 2003.</i>	59
<i>Abbildung 90: Zusammenstellung des Nutz- und Primärenergieverbrauchs von Juli 2003 bis Juni 2003.</i>	60
<i>Abbildung 91: Energiebilanz von Juli 2002 bis Juni 2003 in einer Variante mit kondensierendem Gaskessel.</i>	67

6.2 Tabellen

Tabelle 1: Belegungsdaten von Oktober 2002 bis März 2003.	9
Tabelle 2: Stunden mit Temperaturen unter 20 °C von Oktober 2002 bis März 2003.	32
Tabelle 3: Stunden mit Temperaturen unter 20 °C Juli bis September 2002 und von April bis Juni 2003.	33
Tabelle 4: Stunden mit Temperaturen über 28 °C von Juli bis September 2002 und von April bis Juni 2003.	33
Tabelle 5: Stunden mit relativer Feuchte unter 30 % von Oktober 2002 bis März 2003.	34
Tabelle 6: Stunden mit relativer Feuchte unter 30 % von Juli bis Sept. 2002 und von April bis Juni 2003.	35
Tabelle 7: Zusammenstellung charakteristischer Zahlenwerte von Oktober 2002 bis März 2003.	45
Tabelle 8: Zusammenstellung charakteristischer Zahlenwerte von April 2003 bis Juli 2003.	46

7 Literatur

- [1] Frei B., Huber H., *Erfahrungen aus messtechnischen Untersuchungen an Passivhäusern*, Energie- und Umweltforschung im Bauwesen, 12. Schweizerisches Status – Seminar 2002, ETH Zürich.
- [2] Breu Ch., *Passiv – MFH Unterägeri*, Energie- und Umweltforschung im Bauwesen, 12. Schweizerisches Status – Seminar 2002, ETH Zürich.
- [3] Europäisches Testzentrum für Wohnungslüftungsgeräte (TZWL), *Liste für Wohnungslüftungsgeräte mit und ohne Wärmerückgewinnung*, 7. TZWL - Bulletin April 2002, Dortmund.

Die Messungen der HTA Luzern wurden im Rahmen einer energetischen Erfolgskontrolle durchgeführt. Diese Untersuchungen sind weder als Abnahmemessung noch als Expertise zu verstehen.

Die elektronisch erfassten Daten werden während 3 Jahren gespeichert. Der Prüfbericht und die zugehörigen Dokumente werden bei uns an der Prüfstelle während 10 Jahren archiviert.

Der Auftraggeber kann während dieser Zeit die Dokumente einsehen. Der Aufwand beim Erstellen von Kopien wird dem Kunden verrechnet.

Horw, 2003-11-17

B. Frei
Dipl. HLK Ing. HTL
Wissenschaftlicher Mitarbeiter

F. Reichmuth
Dipl. Masch. Ing. FH
Assistent

H. Huber
Dipl. HLK/Masch. Ing. FH
Stv. Leiter WTT HLKS

8 Anhang

8.1 Variante Wärmeerzeugung mit kondensierendem Gaskessel

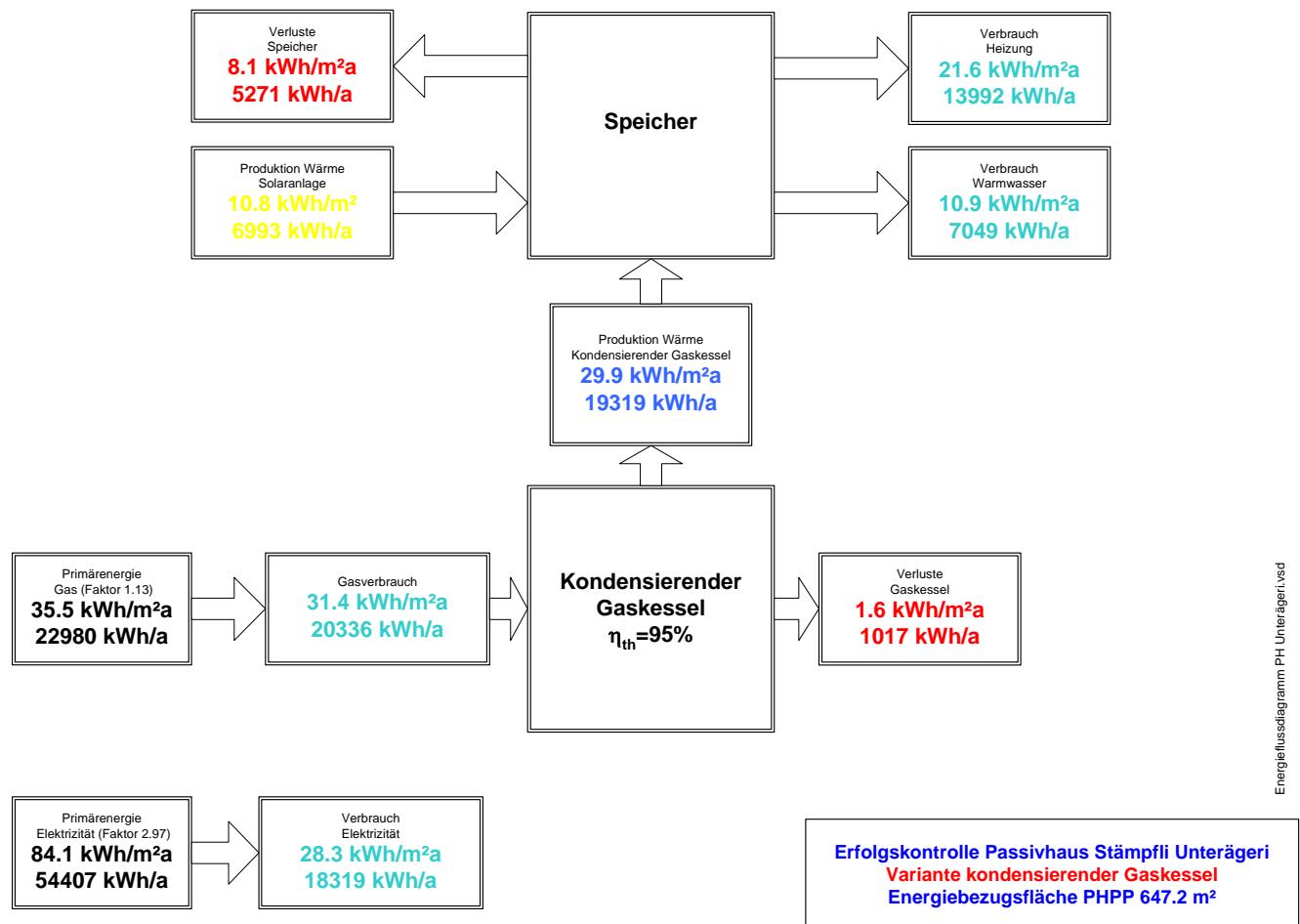


Abbildung 91: Energiebilanz von Juli 2002 bis Juni 2003 in einer Variante mit kondensierendem Gaskessel.